



TITLE:

テレビジョン撮像装置の研究(Dissertation_全文)

AUTHOR(S):

日比, 正男

CITATION:

日比, 正男. テレビジョン撮像装置の研究. 京都大学, 1973, 工学博士

ISSUE DATE:

1973-01-23

URL:

<https://doi.org/10.14989/doctor.r2201>

RIGHT:

テレビジョン撮像装置の研究

日 比 正 男

第 1 部 テレビ撮像装置の研究

目 次

序 論

第 1 部 テレビ撮像装置の研究

第 1 章 ビジコンの開発と特性試験	1
1.1 まえがき	1
1.2 ビジコンの試作	1
1.2.1 ビジコンの構造と動作原理	1
1.2.2 管の設計と試作	4
1.2.3 光導電ターゲットの設計と試作	8
1.3 ビジコンの特性試験法	13
1.3.1 試験装置の設計と試作	13
1.3.2 光電感度の試験法	13
1.3.3 残像の試験法	21
1.3.4 その他のビジコン特性の試験法	31
1.4 まとめ	34
参考文献	35
第 2 章 ビジコン画質改善の一方法	37
2.1 まえがき	37
2.2 信号電極電圧制御による画質改善方式の考察	37
2.2.1 ビジコン画質改善の一般的考察	37
2.2.2 ビジコン信号電極電圧制御方式の原理	39
2.2.3 制御効果の検討	40
2.3 制御効果とビジコン特性の関係	42
2.3.1 ビジコン特性が制御に及ぼす影響	42
2.3.2 信号電極電圧変化に対するビジコン応答特性の理論的検討	45
2.3.3 信号電極電圧変化に対するビジコン応答特性の実験結果と考察	48
2.4 制御装置と制御効果	50
2.4.1 制御装置の設計と試作	50
2.4.2 制御特性	53
2.4.3 制御効果	56
2.5 まとめ	60
参考文献	62
第 3 章 電子衝撃導電形撮像装置の実験	63
3.1 まえがき	63
3.2 テレビ電子顕微鏡の原理	63
3.3 電子衝撃導電膜とその特性	65
3.3.1 電子衝撃導電膜の概要	65

DOC

1972

14

電気系

3.3.2	セレン膜の衝撃導電特性	66
3.4	テレビ電子顕微鏡装置の試作と撮像実験	68
3.4.1	テレビ電子顕微鏡装置の試作	68
3.4.2	撮像実験結果	71
3.5	まとめ	73
	参考文献	74
第2部	テレビ撮像装置の応用に関する研究	
第1章	簡易形カラーカメラ	75
1.1	まえがき	75
1.2	カラーカメラ方式の検討	75
1.3	面順次式簡易カラーカメラ	78
1.3.1	原理	78
1.3.2	カメラの方式と装置の設計	79
1.3.3	試作結果	81
1.4	周波数分離形高解像度カメラ	83
1.4.1	原理	83
1.4.2	カメラの方式とカラープロセッサの設計	86
1.4.3	三色分解光学系の設計と製作	88
1.4.4	ビジコンの検討	91
1.4.5	試作結果	93
1.5	まとめ	94
	参考文献	96
第2章	低速走査形カメラ	98
2.1	まえがき	98
2.2	低速走査形カメラの基本設計	99
2.3	低速走査時とビジコン特性	101
2.3.1	低速走査時のビジコン特性の理論的検討	101
2.3.2	低速走査時のビジコン特性の測定と検討	107
2.4	低速走査形カメラの実験試作	115
2.5	まとめ	118
	参考文献	119
第3章	テレビ電話用カメラ	120
3.1	まえがき	120
3.2	テレビ電話用カメラの設計	120
3.3	中央測光方式による自動光量制御	122
3.4	電子ズームに関する検討	124
3.4.1	電子ズームとビジコン特性	124
3.4.2	電子ズームの方式と効果	125

3. 5	テレビ電話端末機の試作.....	1 3 0
3. 6	まとめ	1 3 2
	参考文献.....	1 3 3
結 言	1 3 4

記 号 の 説 明

- A = 光導電膜の画素の面積
 α = 係数 ($= CE/\eta$)
 B = 周波数帯域幅
 B = 青色信号
 B' = 高解像度青色信号
 B'' = B' 信号をガンマ補正した信号
 B_h = 1 走査線前の青色信号
 C = 光導電膜の画素静電容量
 C_0 = 回路の浮遊容量
 C_t = 光導電膜の全静電容量 (走査面積分)
 d = 光導電膜の膜厚
 E = ビジコン信号電極電圧
 E' = 信号電極電源電圧
 E_0 = 基準となる信号電極電圧 (動作中心)
 E_{00} = 固有信号電極電圧
 E_1 = 信号電極電圧の初期値
 E_2 = 信号電極電圧変化後の値
 E_{SJ} = 信号電極電圧
 e = 電 荷
 f = 色信号搬送周波数
 f_B = 青信号の搬送周波数
 f_c = カットオフ周波数
 f_{ca} = 交流増幅器下限カットオフ周波数
 f_{cd} = 直流増幅器上限カットオフ周波数
 f_f = フィールド周波数 (垂直周波数)
 f_H = 水平走査周波数
 f_R = 赤信号の搬送周波数
 G = 制御器相対利得
 G = 緑色信号
 G' = 高解像度緑色信号
 G'' = G' 信号をガンマ補正した信号
 G_h = 1 走査線前の緑色信号
 g = 衝撃導電膜の増倍利得
 H = 垂直走査幅
 h = 水平走査時間
 I = ビジコン出力信号
 I' = 残留電荷存在時の出力電流

B

- I_b = 電子ビーム電流
- I_d = 暗電流
- I_{dN} = 標準走査時の暗電流
- I_{dSL} = 低速走査時の暗電流
- I_N = 標準走査時の出力電流
- I_n = 光遮断後 n 回目の出力電流 ($n = 1, 2, \dots, n$)
- I_{nZ} = n 倍ズーム時の信号電流
- I_s = 信号電流 (光電流)
- I_{s0} = 基準信号電流
- I_{s+} = 光量増加時の制御された信号電流
- I_{s-} = 光量減少時の制御された信号電流
- I_{SL} = 低速走査時の出力電流
- I_{sN} = 標準走査時の信号電流
- I_{sSL} = 低速走査時の信号電流
- i_b = 電子衝撃導電電流
- i_d = 電子衝撃導電膜の暗電流
- i_n = ビジコンカメラ雑音電流
- i_p = 衝撃一次電子電流
- K = *Kell* 係数
- k = ボルツマン定数
- k = 係数 ($= I_s / E^{\alpha} \phi \tau$)
- k' = 係数 ($= I_d / E^{\beta}$)
- L_n = n 回目の走査時の残像 ($n = 1, 2, \dots, n$)
- \varnothing_n = 自然対数の記号
- m = τ_d / τ_s
- m = $\Delta E / V_{sm} - V_s$
- N = 走査線数
- N_B = 青色信号の雑音
- N_G = 緑色信号の雑音
- N_R = 赤色信号の雑音
- N_Y = 輝度信号の雑音
- N_Y'' = N_Y をガンマ補正した雑音
- n = 光量変化比
- n_c = 光導電膜の自由キャリア濃度
- n_{c0} = 光導電膜の自由キャリア濃度初期値
- n_Z = ズーム率
- Q_n = n 回目の走査後の残留電荷
- R = 光導電膜の画素の抵抗

C

R	= 赤色信号
R'	= 高解像度赤色信号
R''	= ガンマ補正された R' 信号
R_b	= ビーム抵抗
R_{eq}	= 増幅器入力段等価雑音抵抗
R_h	= 一走査線前の R 信号
R_L	= 負荷抵抗
S	= 走査面積
$S(t)$	= カラーカメラのビジコン信号
T	= フレーム時間
T	= 絶対温度
T_B	= 青信号のサンプル周期
T_H	= 水平走査時間
T_R	= 赤信号のサンプル周期
t_d	= 信号消滅時間
V_s	= 表面電位
V_s	= 信号電圧
V_{so}	= ビーム走査直後の表面電位 (残留電位)
V_{sm}	= カメラ増幅器の最大入力電圧
v	= 光導電膜にかかる電圧
W	= 水平走査幅
W_s	= フィルタのストライプ幅
x	= 水平有効走査率
Y	= 輝度信号
Y'	= R' , G' , B' からの合成輝度信号
Y''	= ガンマ補正された Y 信号
Y_H	= Y の高域成分
Y_L	= Y の低域成分
y	= 垂直有効走査率
α	= 信号電流に対する信号電極電圧の指数
β	= 暗電流に対する信号電極電圧の指数
γ	= 光電変換指数
ΔE	= 信号電極電圧変化量
$\Delta E+$	= 電圧変化増大分
$\Delta E-$	= 電圧変化減少分
ΔT	= 画素走査時間
δ	= 二次電子放出比
ϵ	= 自然対数の底数

D

ε_p	= 光導電膜の誘電率
η	= $\Delta T / T$
θ_s	= フィルタストライプと走査線のなす角
A	= $e / k T$
μ	= 制御系の増幅係数
μ'	= μ / E'
μ_c	= キャリヤ易動度
ρ	= 光導電膜の比抵抗
ρ_d	= 暗時比抵抗
σ	= $\tau_{SL} (1 - e^{-\frac{T_{SL}}{\tau_{SL}}}) / T_{SL}$
τ	= 光導電膜の時定数
τ'	= t_d (τ の目安量)
τ_0	= 光入射時の基準時定数
τ_b	= ビームによる電荷放電時定数
τ_d	= 暗時時定数
τ_R	= キャリヤ再結合の時定数
τ_s	= 光入射時の時定数
ϕ	= 入射光量
ϕ_0	= 基準入射光量
ϕ_{nz}	= ズーム時の入射光量
φ_B	= 青信号サンプリングの位相
φ_R	= 赤信号サンプリングの位相
ω_B	= 青信号のサンプリング角周波数
ω_R	= 赤信号のサンプリング角周波数
ω_c	= f_c に対する角周波数

序 論

テレビジョンは人間の知覚の90%を占める視覚情報を即時かつ遠方に伝達する手段として、現代社会に占める役割はきわめて大きく、社会の進歩とともにその発展は著るしいものがある。放送用テレビジョンがカラーの時代となり、ほとんど全国の家庭がその情報を享受している一方、閉回路テレビジョンも産業用、教育用、その他多くの分野に目覚ましい普及を示している。また公衆通信として長年の夢であったテレビ電話も、すでに実用化の試みが始まっており、人工衛星テレビによって月面、火星面の状況が伝送される時代になった。このようなテレビジョンは、撮像装置すなわち撮像管を心臓部とするテレビカメラと、ブラウン管を中心とする受像装置が基本構成要素であるが、それぞれに幾多の技術開発が積上げられて今日の発展が築かれたものである。

本研究の対象である撮像装置について顧みると、画期的な重要発明がいくつかあり、それらはテレビジョンの歴史そのものを大きく動かしている。1939年、V.K.Zworykin による全電子式蓄積形高感度撮像管、アイコノスコープ (Iconoscope) の発明は、現在のテレビジョンの実用的な出発点とみなしてよいであろう。その後イメージアイコノスコープ、オルシコンを経て、イメージオルシコン (Image Orthicon) が開発され、テレビ撮像装置の基礎が確立された。このイメージオルシコンは光電子放出形 (外部光電効果) の撮像管で、高感度、高画質のため、開発以来20年余の現在に至るまでテレビ撮像装置の主流をなしている。

一方光導電形 (内部光電効果) の撮像管については、1950年、RCA社のP.K.Weimerが無晶形セレン、引続いて三硫化アンチモンを用いた撮像管ビジコン (Vidicon) を発表した。ビジコンは直径1吋、長さ6吋と小形であり、イメージオルシコンと比べると、感度は低く、残像も多いが、構造簡単で取扱いが容易なうえ、寿命も長いという、実的にすぐれた性能をもっている。ビジコンは上記の小形簡易という特長のために、閉回路テレビジョンにはほとんど独占的に使用されており、現在の著るしいテレビジョン応用の発展の基礎となっている。

次にテレビジョンカメラについて展望してみよう。テレビカメラは本来撮像管と一体のものであり、目的用途に応じた方式の選定がその内容を規定することになる。イメージオルシコンカメラは放送用が主体であり、標準規格によってその方式は限定されているが、閉回路テレビジョンに用いるビジコンカメラの場合、色々な方式選定の自由度があり、特色ある種々のテレビカメラが開発されることになる。閉回路テレビジョンは応用の面からは、工鉱業、教育、交通、医用、商用、軍用等のいわゆるITV (Industrial TV) から、家庭用、公衆通信用 (テレビ電話)、宇宙用に至る多くの用途に分類されるが、機能、方式面から見ると、白黒、カラー、狭帯域、高解像度、立体といった要求画像の内容によって分類される。テレビジョンカメラの特徴的な発明、開発は大部分この方式と機能に関するものであり、1940年のP.C. Goldmark によるCBSカラー方式の提案はその代表的なものといえよう。

以上述べた撮像管を中心とするテレビ撮像装置の技術的発展の流れに沿って、筆者はビジコンの開発、改良、特性改善とそれを背景とした新しいカメラ方式の開発研究に携ってきた。

本論文は上記ビジコンとテレビカメラに関する研究を、一貫したテレビジョン撮像装置の研

究としてとらえ、総合的にまとめたものである。

以下研究の動機と経過について述べる。

P.K.Weimer のビジコンの開発はその画期的な性能と将来発展の大きな可能性から、我が国でもNHK技術研究所、静岡大学が中心となつて直ちに研究が開始された。筆者の属する日立製作所も武井博士を中心に昭和27年頃から研究に着手し、筆者も昭和28年からこのビジコン開発に参加した。以後NHKとの共同研究を進め、実用化を目指した1吋ビジコンの試作に力を注ぎ、多くの問題を解決しながら、昭和33年に国産第一号製品を発表した。また同時に試験法や、試験規格をも固め、引続く各種製品の開発へと技術を展開させていった。

その実用化が始まると、用途に応じてビジコン性能に対する各種の要求が具体的に現われてきた。これらの性能改善の要求のうち感度、残像、解像度などは管そのものの改善による解決が期待されたが、特にフィルム放送で問題となるラチチュード特性(ダイナミック・レンジ)については、管の本質にもとづく不可避のものであるので、回路系を含めた全体装置としての対策を講ずる必要があると考えられた。筆者はビジコンの動作条件、具体的には信号電極電圧を制御することを試み、かなりの改善効果を得たが、同時にビジコンに基因する応答限界があることを理論と実験で証明した。

さてビジコンは光に対する撮像管であるが、ターゲット材料を変更することにより電子綫像の撮像も可能である。日立製作所の代表的製品の一つである電子顕微鏡の操作性向上、像観察性能の向上のために、電子衝撃導電膜をターゲットとする電子顕微鏡像輝度増倍装置(テレビ電子顕微鏡)の開発が当所及川博士を中心に開発され、筆者もテレビ撮像装置部を担当してその実験的研究に参加した。この原理は1958年、M.E.Haine によつて発表されてはいたが、上記研究は我が国始めてのもので、昭和39年電子衝撃導電形電子顕微鏡輝度増倍装置の開発に成功した。これは引続いて製品化され、実用機としては世界最初の製品となった。

以上はテレビ撮像装置の、特に撮像管の本体または直接的性能改善に関する一連の研究であるが、筆者は上記の開発の体験を基礎に、撮像管の特性を活かした新しいカメラ方式装置の開発へと研究を展開した。

放送テレビジョンは白黒からカラーへ移行しているが、放送用カラーカメラはほとんどすべてが撮像管を3~4本用いたものであり、複雑高価で、専門家の操作が必要である。閉回路テレビジョンの場合は、使用者が素人であり、簡易安価な単一撮像管式カラーカメラが切望されているが、適当なものがないのが実情であり、回転色フィルタを用いるCBS方式のフィールド順次式カメラが唯一の実用機であつた。筆者は上記簡易形カラーカメラ開発の必要性から、2度にわたつて新しい単管(ビジコン1本)カラーカメラの提案を行ない、その効果を実証した。昭和40年面分割フィールド順次式を提案し、試作を行なつた。これは標準方式とのコンパチビリティがないため実用化はされなかつたが、簡易形として、最近でもベル研究所はこれと同一方式のカメラをカラーテレビ電話用として取上げ、研究発表を行なっているものである。第二のカラーカメラは、昭和45年に提案した高解像度周波数分離形カメラであり、IC技術の進展により可能となつた微細色ストライプフィルタを用いたもので、小形カラーカメラとして現在製品化の段階にある。

狭帯域テレビジョンは閉回路テレビジョンの特徴的方式の一つであり、このうち低速走査用

カメラに関しては、書画伝送用や宇宙開発用に多くの試みがなされ、また実用化がなされている。この最大の問題はビジコン特性であり、撮像管の十分な理解なくしては方式設計は困難といえる。筆者はこの問題に関して低速走査時のビジコン特性の測定解析を行なうとともに、低速走査形カメラの試作実験を通して、多くの知見を得、ビジコンを中心とした方式設計の指針を明確にした。

狭帯域テレビジョンの他の形式として低解像力形のものがあり、その代表はテレビ電話である。テレビ電話は情報化時代の流れの中で、急速な発展を見せようとしているが、開発の初期段階として、その設計法の確立や操作性に関する検討が重要な課題であった。筆者もテレビ電話のカメラ部に関する若干の研究を行ない、照明条件変化に対する有効な自動光量絞り調整方式や、文字を読みやすくするための電子ズーム方式の新機能を提案し、実験により効果を確認した。これらは我が国では初めての試みであり、その後のテレビ電話の開発に組込まれ、効果を発揮している。

以上は本研究の動機と経過であり、ビジコンの開発からカメラへの応用まで一貫した研究の流れの中で、それぞれに有用な成果を出し、実用化への基礎技術を固めたものと考えている。

本論文では上述の研究とその成果について第1部撮像装置、第2部その応用(カメラ)に分けて述べるが、その概要は次のごとくである。

第1部、第1章はビジコンの開発と特性試験について述べた。ここではビジコンの設計方法をあきらかにし、試作上の問題点と解決方法を述べるとともに、感度、残像特性の適切な表現や、誤差の少ない最適測定方法についての詳細な検討を行なった。この研究は我が国初めてのビジコン国産化の骨格をなすものであり、またその後規格化の基礎を築いたものである。

第2章は、ビジコンのラチチュード拡大による画質改善の方法に関するもので、筆者はビジコンの出力電流を負帰還して、信号電極電圧を制御する方法を提案し、制御効果とビジコン特性の関係を理論的、実験的に解明した。その結果この方法の有効性を実証するとともに、従来あきらかではなかった限界性能に関して、ビジコン特性にもとづく理論限界があることを示し、この種画質改善方式の展開に否定的ではあるが、一つの結論を与えた。

第3章は、電子衝撃導電装置の実験に関するもので、目的は電子顕微鏡の電子線像のテレビ映像化である。ここではまず、セレンを用いた電子衝撃導電膜の製作方法とその特性について述べ、実際の試作装置とそれを用いた撮像実験の詳細について報告した。この実験の結果、従来得られなかった鮮明な電子顕微鏡像を我が国で始めてテレビに映出することに成功した。この技術はその後製品に適用され、世界で初めての実用装置として輸出実績を有するものである。

第2部はビジコンを活用するテレビカメラに関するものである。

第1章はビジコン1本だけを用いる簡易形カラーカメラに関するもので、面分割フィールド順次方式と相関分離周波数分割方式の二つの単管カラーカメラを提案し、それぞれ試作結果を述べた。前者はビジコン面に赤、緑、青の三つの光学像を垂直方向に並べて投影し、フィールド順次信号を得る方式で、分割レンズを用いた簡易独特の光学系を用い、垂直偏向系に工夫を加えて簡易小形のカラーカメラの試作に成功した。後者のカメラは色分解に微細な干渉ストライプフィルタを用い、相関を利用して輝度信号と色信号を分離する特殊な周波数分離方式であり、従来の周波数分離方式の欠点であった解像度特性を大幅に改善した点に特色がある。この

カメラの方式と製作上の問題点、性能等について詳述した。これらのカメラはいずれも新規な提案として、それぞれ特色をもっており、国外での投稿、講演をも行なっているものである。

第2章は低速走査形カメラに関するものである。ここではまず筆者の実験試作カメラを例として設計方法を示すとともに、従来あまり明確でなかった低速走査時のビジコン特性を時定数を媒介として理論と実験の両面から検討し、低速走査用ビジコンの必要特性を示すとともに、標準走査時の特性との比較から、低速走査時のビジコン特性の推論の方法をあきらかにした。また筆者は上記研究を基礎として、人工衛星用の低速走査カメラのモデル試作を行ない、問題指摘を行なったが、その内容についても詳細を述べた。なおこの試作研究は昭和40年度の科学技術庁の委託研究である。

第3章はテレビ電話用カメラの実験研究に関するものである。まず、テレビ電話用カメラの基本設計について述べるとともに、テレビ電話として特に重要な自動光量制御について画面中央部のみを制御対象とする中央測光制御方式の提案とその有効性を示す実験結果について報告した。また普通の三硫化アンチモンビジコンの電子ズームについての可能性を検討し、動作点の設定を適切に行なうことによって問題となるラスタ焼付なしに動作せしめることが可能であること、またこの電子ズームによって文字了解度をかなり増すことができることを示した。これらの新機能は総合的な試作装置によってその効果を実証したが、これらの研究は今後のテレビ電話機の開発の中に活用されてゆくものと考えられる。

以上が本論文で述べる研究の概要であり、成果の主要点である。詳細については以下の本文で論述してゆくことにする。

第 1 章 ビジコンの開発と特性試験

1.1 まえがき

1950年、RCA社のP.K.Weimerらによって無晶形セレン、次いで三硫化アンチモンを光電面とする光導電形撮像管が発表され^{1)~4)}、ビジコン(Vidicon)と命名された。

このビジコンは直径1吋、長さ約6吋という小形なものであり、構造もきわめて簡単である。感度はイメージオルシコンに比べると低く、残像もあるが、信号対雑音比が高く、三硫化アンチモンを用いたものは分光感度が視感度に近く、かつ長寿命である。

ビジコンはその簡単な構造と原理に由来する取扱いの簡便性と、上記諸性能とから、また光導電材料開発への期待をも含めて、広く注目をあびるに至った。

筆者は昭和28年以来、武井博士と共同で、ビジコンの開発研究に当たり、RCA社の6198形ビジコンの設計と試作、各種特性向上の研究、試験装置の設置、試験法の確立に努めた。これらの研究の結果、昭和33年に国産品として初めての製品を発表⁵⁾し得るに至り、以後6326⁽⁶⁾、7038^{(7),(8)}など各種形式のものを試作し、それぞれ製品化に成功した。本章ではこれらの研究とその成果について述べる。

1.2 ビジコンの試作

1.2.1 ビジコンの構造と動作原理

(1) 構造と動作原理

最初にビジコンの構造と動作を簡単に述べる。図1.1.1にその構造を示した。

まず、簡単に構造を説明すると、ガラス面板の内面には酸化錫を主体とする透明導電膜が付けられて信号板となり、この上に光導電物質の薄膜が蒸着されてターゲットを形成している。信号板は面板と外管の間にはさまれて溶封されたコパール環状電極に接続されており、動作時には陰極に対して正の数十ボルトの電圧が供給されている。なおここから取り出されるビジコンの信号出力電流は50 k Ω 程度の負荷抵抗を通して信号電圧を発生し、増幅器により増幅されることになる。次に電子銃の特色として、加速電極G₂には50ミクロン程度のビーム制限孔が中央にあ

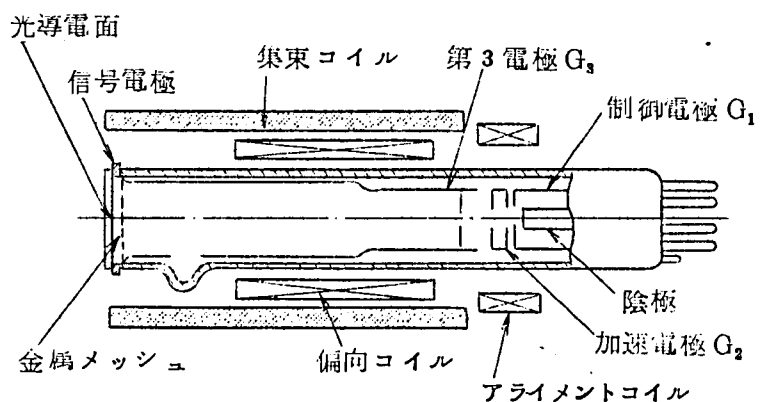


図 1.1.1 ビジコンの電極構造

けられており、また集束電極 G_3 の頂部には透過率約 60% の金属メッシュ (500 あるいは 750 本 / 25.4 mm) が設けられている。メッシュはターゲット表面の電界を一樣ならしめるためのものである。次にビジコンの動作原理を説明する。

ビジコンのターゲットは暗時は絶縁体と考えられ、低速度電子ビームの射突を受けると二次電子放射比 $\delta < 1$ のためターゲット表面はほぼ陰極電位まで引き下げられる。信号板には正電位が印加されているから、光導電膜中にはかなり強い電場を生ずる。入射光を与えるとその強弱に応じて導電性を変え、信号板の正電荷は膜を通して表面に表われる。この過程によりターゲットに投影された外界の光学像はターゲット表面の電荷像に変換される。そして信号板とターゲット表面は光導電体を誘電体

とするコンデンサを形成するからこの電荷は走査期間中蓄積されている。十分な電子ビームでこの蓄積電荷像を走査すれば面電位はふたたび陰極電位に引き下げられ、このとき、光導電膜に蓄積された電荷に対応する放電電流が流れ、信号となる。ビジコンのターゲットは近似的に図 1.1.2 のような等価回路で表わすことができ、電荷蓄積の様子は図 1.1.3 のごときものと考えられる。なお電子銃をでた電子ビームは外部の集束、偏向コイルにより発生する磁界によって集束、偏向される。

(2) ビジコンの信号理論

ビジコンの信号電流発生に関して、図 1.1.2 の等価回路を用いて、簡単な理論的検討を加える。ビジコンの出力電流 I は、フレーム時間を T 、画素当りのビーム走査時間を ΔT とすると、(1) で述べた動作原理から、図示の記号を用いて次式で与えられる。

$$I = \frac{CV_s}{\Delta T} = \frac{CE}{\Delta T} (1 - e^{-\frac{T}{\tau}}) \quad (1.1.1)$$

ここで、 $\tau = CR$ は光導電膜の時定数である。

しかし上式は、走査ビームを受けたとき、ターゲット面電位 V_s が一時陰極電位 (0 V) になるという理想条件に対するものであり、実際には走査直後 ($t = 0$) で、 $V_s = V_{s0}$ の残留電

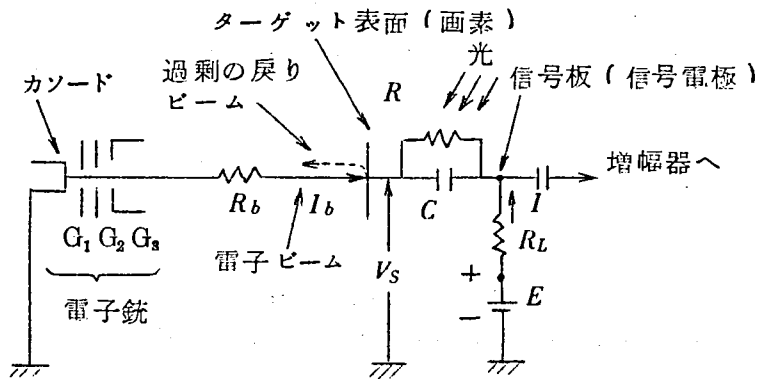


図 1.1.2 ビジコンの等価回路

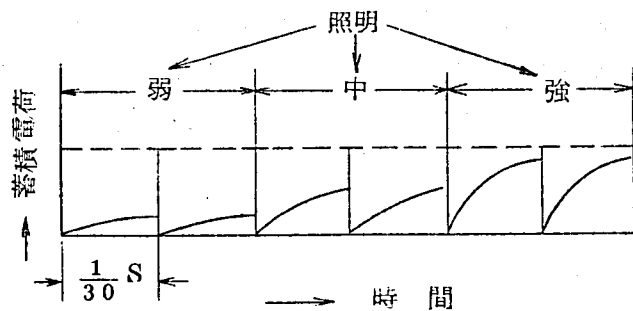


図 1.1.3 電荷蓄積の状態

位が存在する。この場合の出力電流の式は次のようになる。

$$I' = \frac{C}{\Delta T} \{ E - (E - V_{so}) \varepsilon^{-\frac{T}{\tau}} \} \quad (1.1.2)$$

$$= \frac{CE}{\Delta T} \{ 1 - \varepsilon^{-\frac{T}{\tau}} \} + \frac{CV_{so}}{\Delta T} \varepsilon^{-\frac{T}{\tau}} \quad (1.1.3)$$

式(1.1.3)の右辺第2項は残像に対応するものである。

次に、走査ビーム・ランディングの問題を考えてみる。上述の事項と、関係式はすべて蓄積電荷が一回の走査で完全に放電される場合にのみ成立するもので、実際は走査ビームの特性を考慮する必要がある。さて走査電子ビームのターゲットへの流入は、一般にその表面電位に関係し、その流入特性は、負および正の微小電位に対する指数領域、直線領域、二次電子放出を伴う飽和領域に区分できることが知られている。

ビジコンの普通動作では、その大部分が上記直線領域にあると考えられ、図1.1.2に示したビーム抵抗 R_b の設定は、このビームランディングを模擬している。このような直線領域でのビーム走査、すなわち走査ビームからの流入電流がターゲットの表面電位に比例すると仮定すると、出力信号は式(1.1.1)、(1.1.2)に対応して、それぞれ式(1.1.4)、(1.1.5)のようになる。

$$I = \frac{1}{\Delta T} \int_0^{\Delta T} \frac{V_s}{R_b} \varepsilon^{-\frac{t}{\tau_b}} dt = \frac{V_s \cdot \tau_b}{\Delta T \cdot R_b} (1 - \varepsilon^{-\frac{\Delta T}{\tau_b}}) = \frac{CE}{\Delta T} (1 - \varepsilon^{-\frac{T}{\tau}}) (1 - \varepsilon^{-\frac{\Delta T}{\tau_b}}) \quad (1.1.4)$$

$$I' = \frac{C}{\Delta T} \{ E - (E - V_{so}) \varepsilon^{-\frac{T}{\tau}} \} (1 - \varepsilon^{-\frac{\Delta T}{\tau_b}}) \quad (1.1.5)$$

ここで、 $\tau_b = CR_b$ は電荷放電の時定数である。

上式は直線的ビームランディングを考慮したときの出力電流の式である。ここで定常状態における残留電位 V_{so} を求めておく。式(1.1.5)は走査電子ビームによる信号電荷の放電を示す式であるから、この時取残した電荷に対応した残留電位は直ちに求められ、これをふたたび V_{so} とおいてみる。

$$V_{so} = \{ E - (E - V_{so}) \varepsilon^{-\frac{T}{\tau}} \} \varepsilon^{-\frac{\Delta T}{\tau_b}} \quad (1.1.6)$$

$$\therefore V_{so} = \frac{E (1 - \varepsilon^{-\frac{T}{\tau}}) \varepsilon^{-\frac{\Delta T}{\tau_b}}}{1 - \varepsilon^{-\frac{T}{\tau}} \cdot \varepsilon^{-\frac{\Delta T}{\tau_b}}} \quad (1.1.7)$$

式(1.1.7)を式(1.1.5)に代入すると定常状態における出力電流の一般式が求められる。

$$I' = \frac{CE}{\Delta T} \cdot \frac{(1 - \varepsilon^{-\frac{T}{\tau}}) (1 - \varepsilon^{-\frac{\Delta T}{\tau_b}})}{1 - \varepsilon^{-\frac{T}{\tau}} \cdot \varepsilon^{-\frac{\Delta T}{\tau_b}}} \quad (1.1.8)$$

ビジコンのCR等価回路による信号発生理論は上式までで一応の結論が得られたわけであるが、実際の取扱いについてどの理論式を取上げるべきかを知るために、式(1.1.1)、(1.1.4)、

(1.1.8) の 3 式の比較を行なったのが、
 図 1.1.4 である。図は代表的なビジコンの数
 値を C , E , R_b に与えて出力電流にどの程度
 の差が出るかを計算したもので、ビームラン
 ディングの影響を考慮した場合と、しない場
 合の電流差は前者が 20 % 小さいことがわか
 る。なおこの計算では、 C として全ターゲッ
 ト容量 C_t を与え、 ΔT の代わりに $T = \frac{1}{30}$
 s を用いた。図の比較結果から、ビジコンの
 信号電流理論としては、もっとも簡単な式
 (1.1.1) を用いても誤差はあまり大きなもの
 でないことが示された。今後はビジコンの基
 本式として、式 (1.1.1) を用いて各種の議論を進めてゆくことにする。

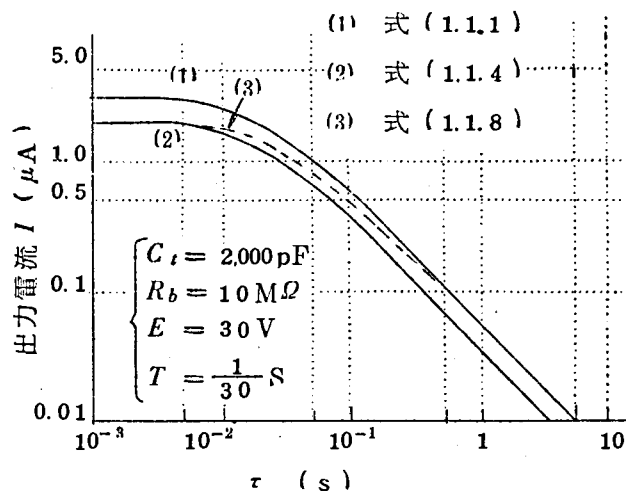


図 1.1.4 各理論式の比較

1.2.2 管の設計と試作

(1) ビジコンの全体構造

筆者が最初の試作に使用した 1 吋形ビジコン 6198 の外管および電極構造の全体を図 1.1.5 に示す。ビジコンの外管はガラス管と面板をコパールリング (厚さ 0.8 mm) をはさんで溶封したもので、この面板の内側に透明導電膜 (ネサ) を吹付けた後、電子銃を挿入し、ステムを外管と封着する。ビジコンとしてはこの後陰極の活性化を行ない、光導電膜を蒸着し、真空に封じ切れば製作完了となる。

以下 6198 の設計、製作に関する主要事項を論ずる。

なお 6198 に引続いて開発した放送用 6326 は、ターゲット周辺部のビーム集束を改善するための、ダイナミック・フォーカス用として、 G_3 電極を頸部の下で分割し、 G_3 , G_4 の 2 電極とした。その他は 6198 の場合とまったく同一である。

(2) 面板へのネサ塗布

ビジコンのガラス面板には、光導電膜に電圧を与えるため透明な導電膜をつくる必要がある。この導電膜として、表 1.1.1 の組成をもつ液を 500 °C で霧状に吹付けて製作するネサ膜を使用した。

ネサ塗布に関しては、均一膜の作成や、信号取出し電極であるコパールリングとの電氣的接触不良対策などの問題もあったが、ここでは代表的な例として、蒸着ヒータ挿入用の電極孔の影響による像の歪の問題と対策を述べる。

表 1.1.1 使用ネサ液成分表

塩化第一錫 SnCl_2	108 g
三塩化アンチモン SbCl_3	2 g
塩化第二鉄 $\text{FeCl}_2 \cdot 6 \text{ aq}$	2 g
これを 12% の HCl 120 cc に完全に溶解させる。	

ビジコン 6198, 6326 の場合、図 1.1.6 (a) のように面板にのみネサ塗布したものは、オーバースキャン (走査面積を正規のときより拡大すること、大体光電面全体にわたって電子ビームを走査することをいう) のとき、電極の挿入孔による電界の不均一性のため、電子ビームの集束、偏向に乱れを生じ、像に流れ状の歪を生ずる。この対策としては、硝子管内部、蒸着用枝管取付け部付近、つまり電極の挿入孔に対応する近辺にもネサ膜を塗布し、これに集束電極と同じ

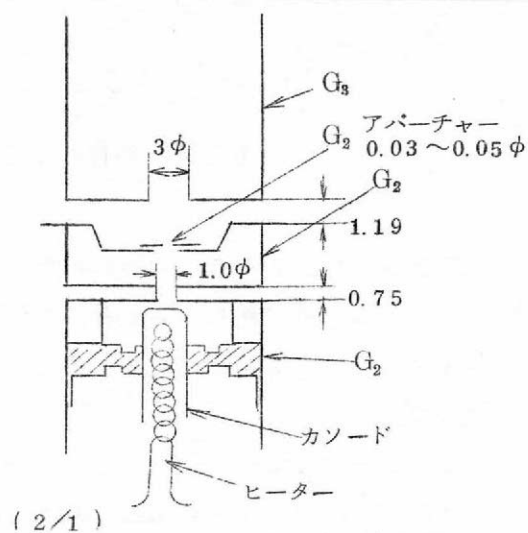
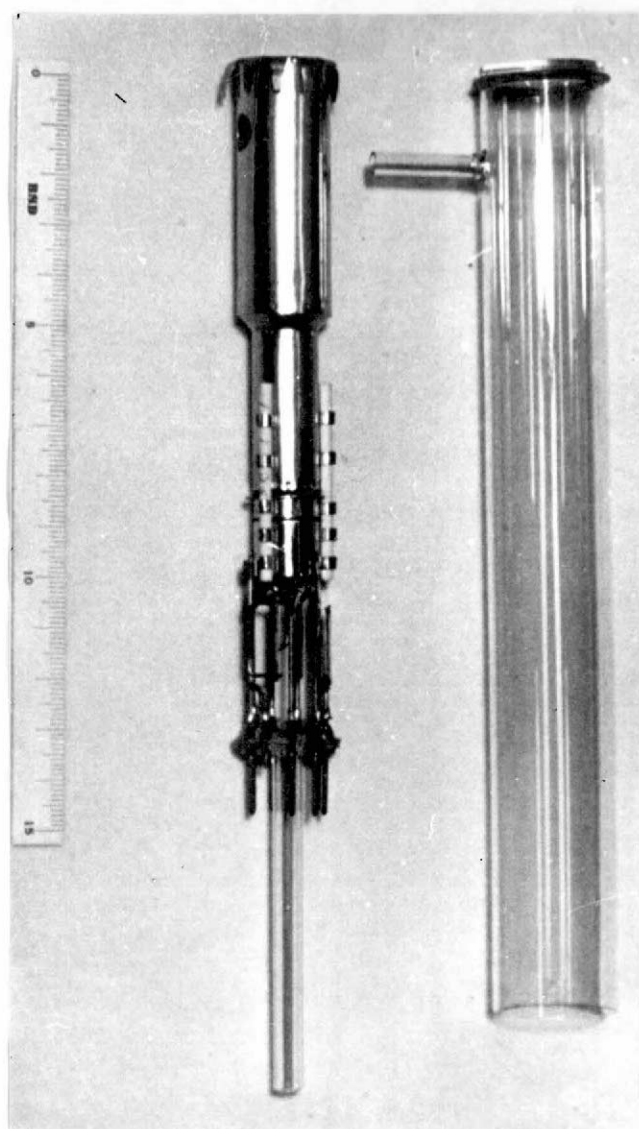
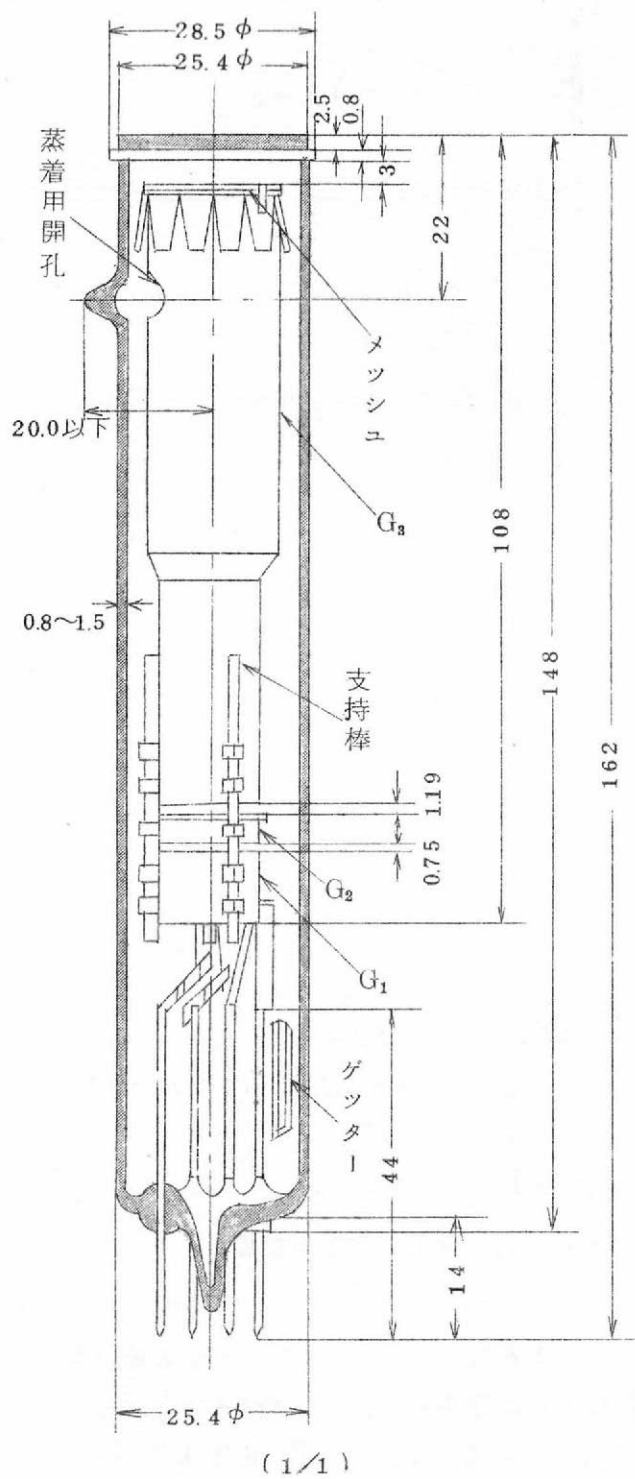
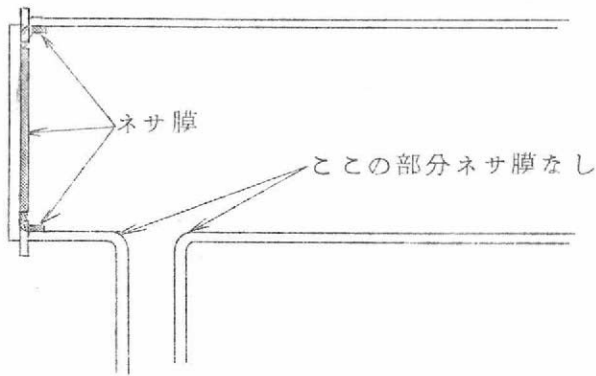
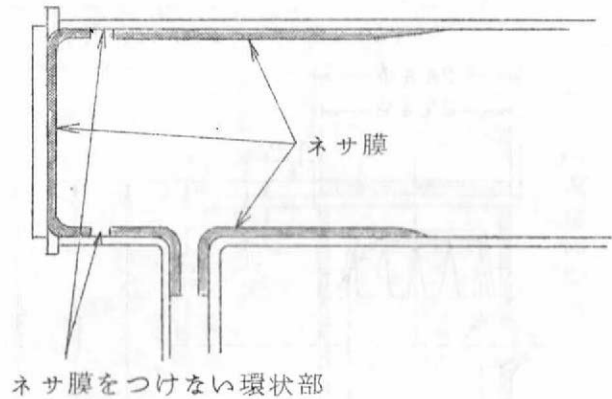


図 1.1.5 ビジコン 6198 の構造と電子銃

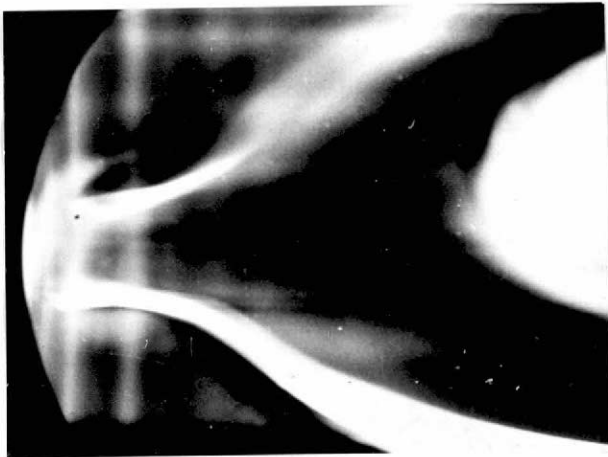


(a) 蒸着管部のネサ膜のないもの

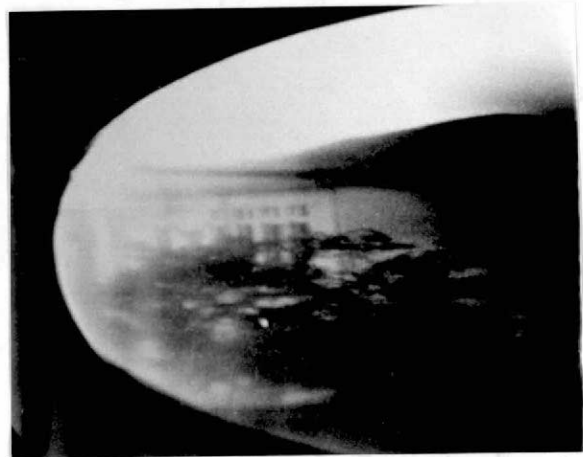


(b) 蒸着管部にネサ膜のあるもの

図 1. 1. 6 外管内壁のネサ塗布



(a) 外管内壁にネサがなく (図 1.1.6 (a))
像に流れを生じた状況



(b) 外管内壁にネサを塗布し (図 1.1.6
(b)) G_s と同電位を与え流れを防い
だ状況

(いずれもオーバスキャンにより全光導電面の半分を示した)

図 1. 1. 7 外管内壁ネサの走査ビーム集束，偏向に対する影響

電位を与えればよいことがわかった。したがって図 1. 1. 6 (b) のように面板のネサ膜と管内壁のネサ膜を電氣的に絶縁し、後者には集束電極上部に付した電子銃固定用のスペーサを通して、集束電極と同じ電位を与えるようにした。この対策によって先述の像の歪は図 1. 1. 7 のように改善された。

(3) メッシュ電極

1 吋ビジコンのメッシュは 500~1,000 メッシュ/吋 程度で、透過率のできるだけ大きいものが必要である。この製作法⁹⁾は所定のグレーティング (ガラス板上にメッシュに相当する縦横に交叉する溝を刻んだもの) 上に金属膜をつくり、この表面をぬぐいさって、溝の中にだけ金属を残し、これをメッキで補強し、グレーティングから引きはがして作る。

この製作過程で重要なのは、グレーティング上の金属膜の作成である。初期の試作では銀鏡反応法を用いたが、不安定のためパラジウムの陰極スパッタリング法に改めた。この場合でも真空度の影響が大きく、 $1 \sim 3 \times 10^{-3}$ Torr より真空度が悪いと膜の強度が低く、メッキ液中でパラジウム膜がはく離する。また真空度が高いと強度が強過ぎ、削除作業が困難になる。パラジウム・スパッタリングは図 1.1.8 のような装置を使用し、パラジウム板に -2.8 kV を印加してグロー放電を行なわせ、グレーティング上にスパッタ膜をつくる。ベルジャー内壁に前回のパラジウム膜などが残っていると電界不均一を生じ、一様なスパッタ膜が得られないので、毎回新しいガラス筒を用いてグレーティング板をベルジャー内壁から遮断し、常に一様な放電を行なわせることが必要であった。

上記スパッタリングにより、パラジウムをグレーティング板に一様に付着させたら、次に海の中にだけパラジウムを残す削除作業があるが、これは指先に薄手のゴム膜、ビニール膜をつけて慎重に表面をふきとるようにぬぐうことによって行なう。

メッキはグレーティング板周辺のパラジウムを一方の電極端子として電源に接続し、銅メッキを行なう。この後洗浄処理してメッシュをグレーティングより引きはがす。通電時間とメッシュの光の透過率の関係は図 1.1.9 のごとくで、管には透過率 60% 程度のものを用いた。

このメッシュは 1 mm 厚の軟鉄リングと 0.1 mm 厚のニッケルリングにはさんで溶接し、周囲を切落す。メッシュはこの状態では多少しわもあるが、 850°C 、3 分間の真空処理により一様な張力が与えられ平滑な面が得られる。これは銅の再結晶によるものとされている¹⁰⁾。

(4) 電子銃

電子銃の構造、寸法は先に示した図 1.1.5 のとおりである。材料はいずれも非磁性体で、

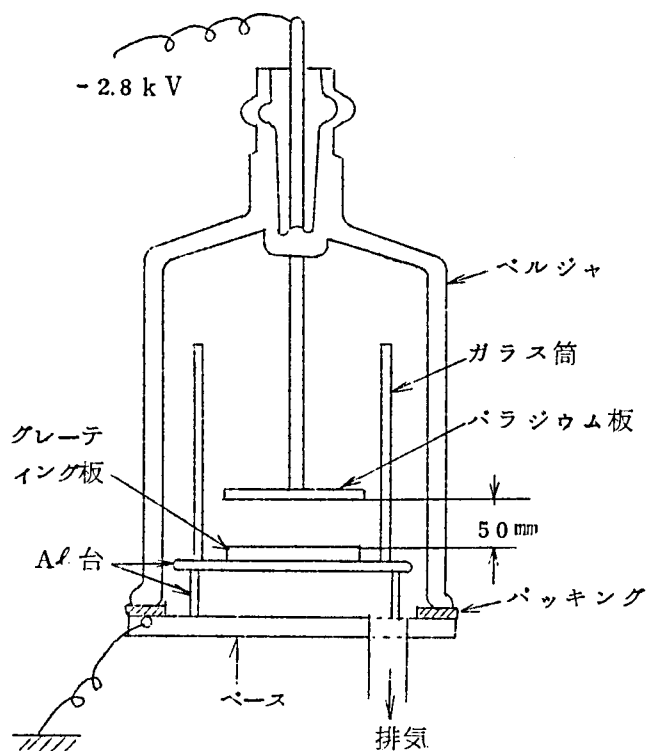


図 1.1.8 パラジウム・スパッタリング装置

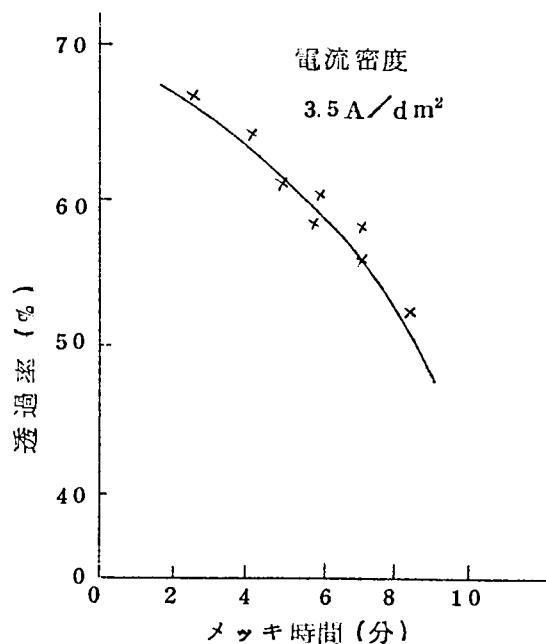


図 1.1.9 メッシュ製作時のメッキ時間とメッシュ透過率の関係

集束電極 G_3 はニクロム板を丸めて溶接し、 G_1, G_2 電極は 18-12 ステンレスを形抜きしてつくった。 G_1-G_2 の開孔の中心合せは、ビーム整列をとる上で重要であり、治具を用いた慎重な作業を必要とするが、特にビーム制限孔（直径 $30 \sim 50 \mu\phi$ ）は顕微鏡で観察しながら、ドリルによる孔あけ作業を行なった。

1.2.3 光導電ターゲットの設計と試作^{11), 12)}

(i) ビジコン光導電膜の性質

ビジコンの光導電膜は感光面であると同時に電荷の蓄積ターゲットとして動作するところの特徴があり、単に高感度であるというだけではビジコンには使用できない。すなわち撮像管ターゲットとして次の事項が要求される。

(i) ビーム走査の一周期（標準 $\frac{1}{30}$ 秒）の間、信号電荷を飽和せざる形で蓄積、保持すること。

(ii) 上記蓄積電荷は一回の走査で十分放電されること。

(iii) 走査で取出される信号電流は SN 比の点から、ある必要レベル以上であること。

ビジコン光導電膜の時定数 $\tau = CR$ の値は、膜の厚さを d (cm), 画素当りの面積を A (cm²) 同じく抵抗を R (Ω), 静電容量を C (F), 誘電率を ϵ_p , 比抵抗を ρ (Ω -cm) とすると、 $R = \rho d / A$ (Ω), $C = 1.1 \epsilon_p A / 4 \pi d \times 10^{-12}$ (F) であるから、式 (1.1.9) で与えられる。

$$\tau = CR = \frac{1.1 \epsilon_p \rho}{4 \pi} \times 10^{-12} \text{ (s)} \quad (1.1.9)$$

撮像管ターゲットとして前述の条件(i)に関して、次の条件を設定してみる。

$$\tau \geq T = \frac{1}{30} \text{ (s)} \quad (1.1.10)$$

なお上記条件に関して、西田¹⁰⁾は感度の点から、 $\tau \geq 5 \sim 10 T$ にえらぶのが望ましいとしている。さて高抵抗誘電体では、 ϵ_p は普通 $5 \sim 15$ なので、仮りに $\epsilon_p = 10$ とおくと、次式が得られる。

$$\rho \geq \frac{4 \pi}{1.1 \times 10 \times 30} \times 10^{12} \approx 4 \times 10^{10} \quad (1.1.11)$$

すなわち光導電膜の抵抗は、光入射時でも、比抵抗の値が 10^{10} (Ω -cm) 以上の高抵抗体であることが要求される。なお暗抵抗 ρ_d については、ハイライト時の $10 \sim 100$ 倍と考えられるので、 $\rho_d \approx 10^{11} \sim 10^{12}$ (Ω -cm) となる。数ある光導電材料のうちで、このような高抵抗材料は少なく、ビジコンの光導電材料はかなり限定されたものになる（現在までに使用されたものは、Se, Sb_2S_3 , PbO , As_2S_3 など数種類にすぎない）。

次に条件(iii)の問題について考える。この条件が満たされないと電荷とり残しのため残像現象が生ずる。この場合は式 (1.1.5) からわかるように電荷放電の時定数 $\tau_b = CR_b$ が問題となる。今一回の走査により蓄積電荷が半分放電し、表面電位が $\frac{1}{2}$ に低下する条件を限界条件に設定すると次式が得られる。

$$e^{-\frac{AT}{CR_b}} \leq \frac{1}{2} \quad (1.1.12)$$

ここでターゲットの全静電容量を C_t とすると、次の関係が成立する。

$$\frac{C}{C_i} \approx \frac{\Delta T}{T} \quad (1.1.13)$$

式 (1.1.12), (1.1.13) から

$$C_i \leq \frac{T}{0.7 R_b} \quad (1.1.14)$$

ビジコンのビーム抵抗は大体 $15 M\Omega$ 程度とされているので

$$C_i \leq 3 \times 10^{-9} \text{ (F)} \quad (1.1.15)$$

すなわちターゲットの静電容量は残像の点から, $3,000 \mu\mu\text{F}$ 以下でなければならない。この場合, $\epsilon_p = 10$, ターゲット走査面積を $S = 1.2 \times 0.9 \text{ (cm}^2\text{)}$ とすると, 光導電膜の膜厚は 3μ 以上必要となる。

最後に (iii) の条件については, ビジコンの信号電流値によって決定される。普通のビジコン・カメラでは 40 db 程度の S/N 比を得るには, 信号電流として $0.2 \mu\text{A}$ (負荷抵抗 $50 k\Omega$) 程度を必要とする。したがって信号電流の式 (1.1.1) と (1.1.13) から次の条件式が示される。

$$I = \frac{CV_s}{\Delta T} = \frac{C_i V_s}{T} \geq 2 \times 10^{-7} \text{ (A)} \quad (1.1.16)$$

一方 V_s は普通のビジコンでは低速走査の条件 ($\delta < 1$) から, 最大 10 V 程度とされているので, この値と $T = \frac{1}{30} \text{ (s)}$ を代入すると, 次の条件が得られる。

$$C_i \geq 6 \times 10^{-10} \quad (1.1.17)$$

これからビジコン・ターゲットの静電容量は信号電流の関係から, $600 \mu\mu\text{F}$ 以上であることが望まれることになる。

(2) 光導電膜の製作

(a) 光導電材料

ビジコンの光導電材料である三硫化アンチモン (Sb_2S_3) としては, 最初は天然結晶の輝安鉱 (Stibnite) を用いたが, 不純物が多いため合成法に変更した。すなわち当量のアンチモン (71.7%) と硫黄を粉碎混合し, 石英管を用い, 不活性ガス中で $1,000^\circ\text{C}$ で溶融して得られる針状結晶の集合体を用いた。

(b) 真空中蒸着とガス中蒸着

三硫化アンチモンを高真空中で蒸着すると, 透過, 反射共暗赤色の強固な硝子状の膜が構成される。この膜をもつビジコンは光電感度は高いが, 暗電流が非常に大きく, 残像も大きく, 実用にはならない。

一方, 不活性ガス中で蒸着すると, きわめて軟かい多孔質の膜が得られ, このビジコンは感度が劣るが, 暗電流が少なく, 残像もきわめて少ないものが得られる。

このガス中蒸着法は, 真空蒸着膜の改良対策中に, 低真空中の蒸着膜が高真空中の蒸着膜と反対の性質をもつことが見出されたことから検討が始まった。各種のガス (酸素, ヘリウム, ネオン, アルゴンなど) について実験を試みたが, 結論的にはアルゴンを 5 mm Oil (1 mm Oil は $\frac{1}{15} \text{ Torr}$ に相当) 程度がもっとも適当な条件であることがわかった。

さて上記光導電膜の蒸着の際には, 透過率を測定しながら膜厚を制御する。このとき使用する光は, $600 \sim 700 \text{ m}\mu$ の波長範囲のものが適当である。三硫化アンチモン蒸着膜は $500 \text{ m}\mu$ 。

以下の光はほとんど吸収し、 $800\text{m}\mu$ 以上では干渉の影響が現われるからである。図 1.1.10 に真空蒸着膜の膜厚と透過率の関係を示す。両者間にはほぼ指数関係が成立つ。

次に真空中蒸着膜とガス中蒸着膜をもつピジコンの特性比較を行なってみる。図 1.1.11 は感度、図 1.1.12 は残像、図 1.1.13 は一定の暗電流 ($0.02\mu\text{A}$) を生ずる固有信号電極電圧の特性をそれぞれ透過率 (膜厚に關係) に対して求めたものである。最初に述べたようにこれらピジコンの主要特性が二つの光導電蒸着膜で大きく異なっていることがわかる。

(c) 蒸着の方法

三硫化アンチモンをピジコン面板に蒸着するには、6198, 6326 形の場合は、図 1.1.14 のような蒸着管を用いて行なう。材料を詰めた蒸着ヒータは、マグネットを用いて管の中央に運ぶ必要があり、位置、傾きが狂うと一様な膜厚分布が得られず、感度ムラなどを生ずるので、熟練と慎重な操作が要求される。

またガス中蒸着の場合、蒸着物質がメッシュに付着し、ひどいときにはメッシュの目つまり

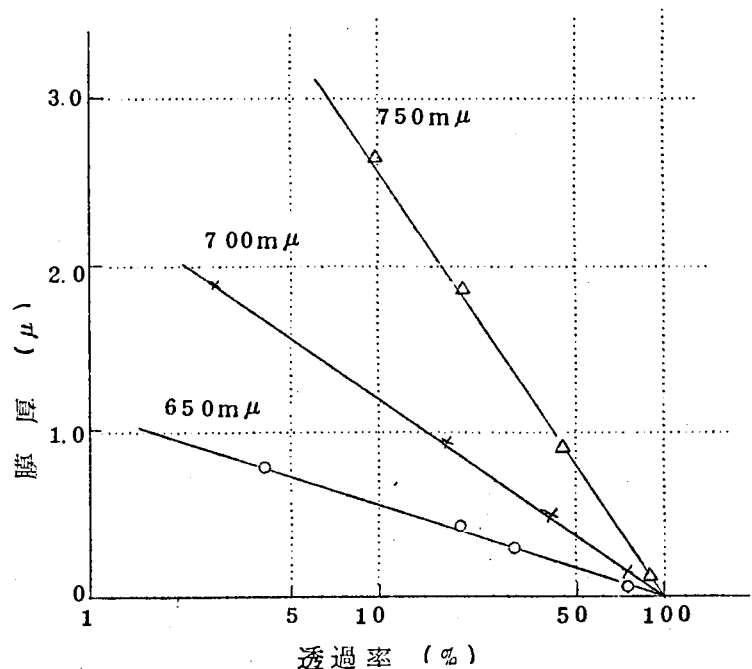


図 1.1.10 三硫化アンチモン真空蒸着膜の膜厚と透過率

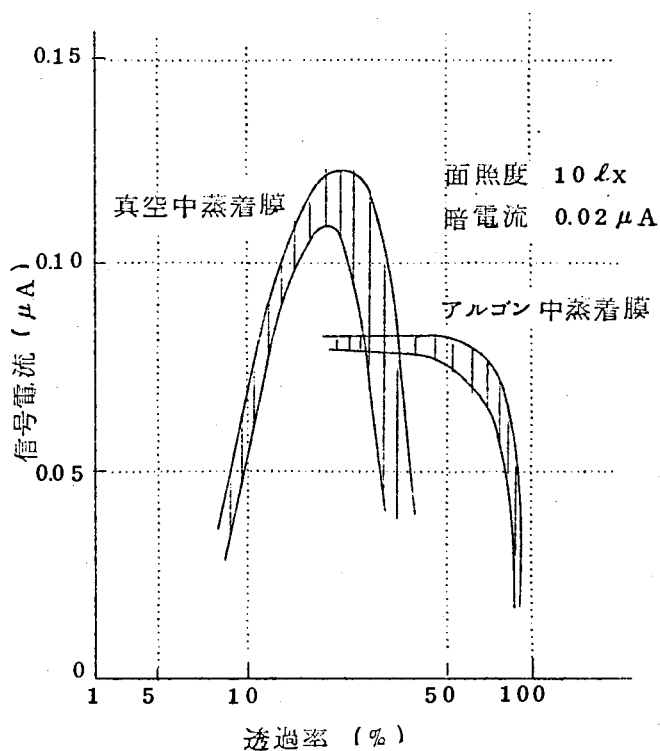


図 1.1.11 蒸着膜の透過率と信号電流の關係

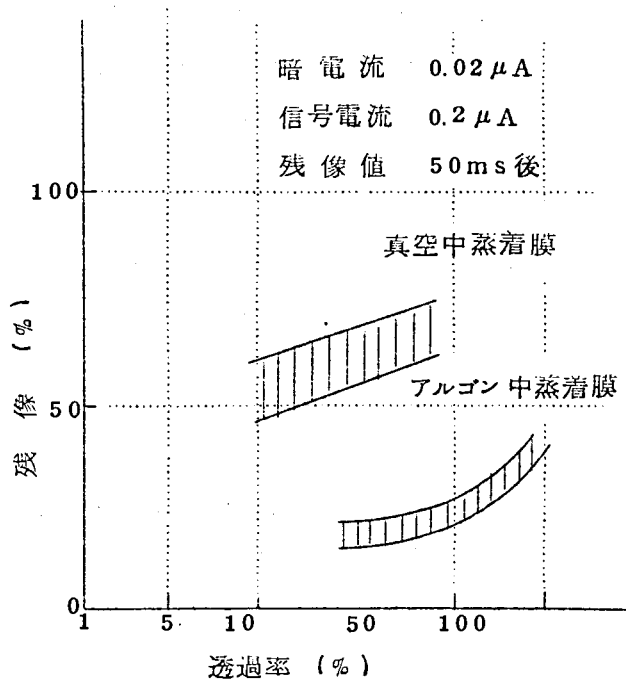


図 1.1.12 透過率と残像の關係

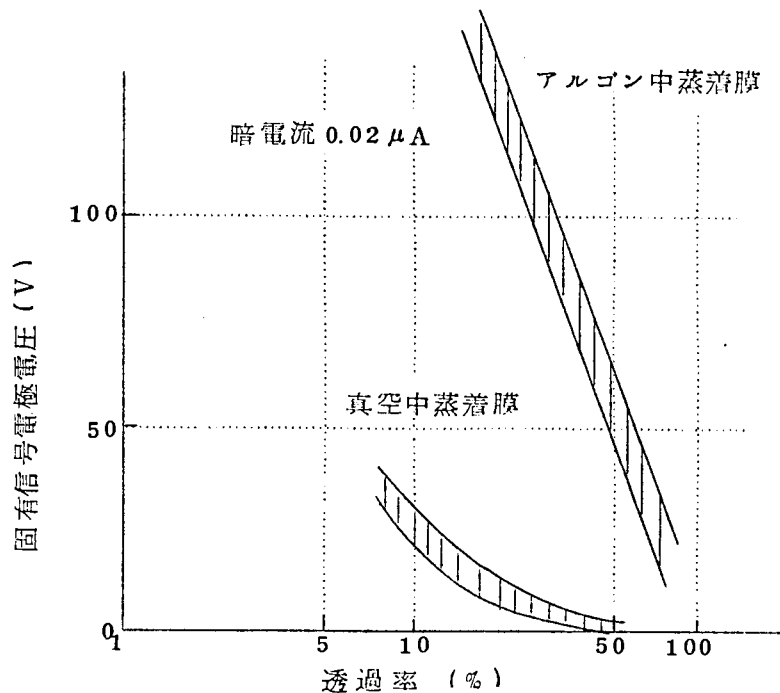


図 1.1.13 透過率と固有信号電極電圧の関係

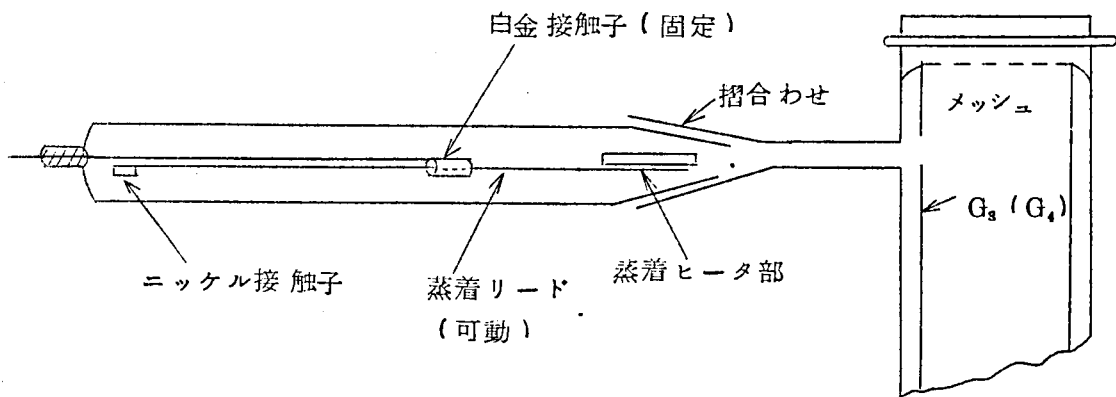


図 1.1.14 蒸着管構造

を生ずることがある。これは出力電流の低下や画質劣化をまねくので好ましくない。このためガス排気後の高真空中で、面板部をドライアイスで冷却させながら、高周波炉でメッシュおよび近傍電極を加熱し、メッシュに付着した三硫化アンチモンを除去しておく必要がある。この処理によって面板上のガス中蒸着膜の上には真空蒸着膜が付着することになり、一種の複合膜が形成される。この複合光導電膜をもつビジコンは、単なるガス中蒸着膜のものより高い光電感度をもち、非常に好都合である。

次に 7038 形 について簡単に述べる。

筆者は 6198, 6326 形ビジコンに引続いて 7038 形の開発を進めたが、その特色は面板の冷封じと光導電膜の製法である。外管を構成する面板とガラス管は、インジュウム・リングを介して常温の下で圧着される。したがって面板にはあらかじめ別の蒸着装置を用いて光導電膜

を製作することができ、均一な膜を得ることも容易であり、また前述のメッシュの目つまりのような問題は生じない。7038 以後のビジコンはほとんどすべてこの冷封じを用いている。この 7038 の光導電膜の製法と特性を、6198 と比較して図 1.1.15 と表 1.1.2 に示す。

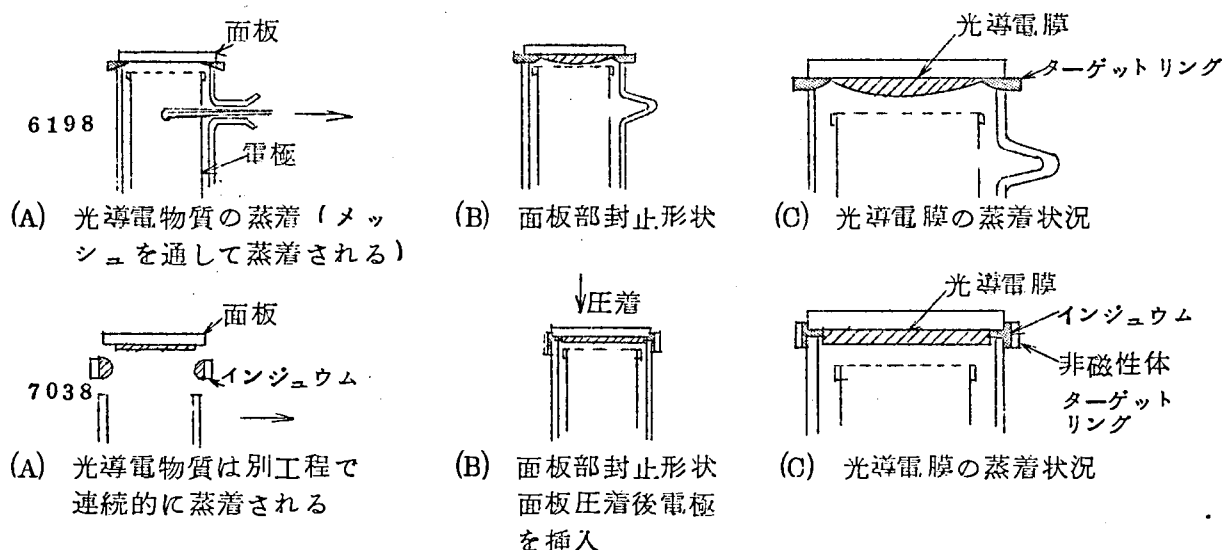


図 1.1.15 6198 と 7038 の面板部製作上の相違と光導電膜の相違

表 1.1.2 6198 と 7038 の比較

項 目	6326	7038
光導電膜	中央部に比べ、周辺部の膜厚が薄いため、周辺フレアーが出やすい。したがって光電感度を上げるため 7038 のようにターゲット電圧を上げられない。	中央部と周辺部の膜厚が同じであるから、周辺フレアーの現象はない。したがってターゲット電圧を上げてその光電感度を 6326 の 2～3 倍にして使用することができる。
構造上の相違	バルブ側壁にチップあり	バルブ側壁にチップなし、かつターゲットリングに非磁性材料を使用しているから電子光学的ひずみがない。
面 板	溶封止	冷封止なので、面板が熱変形を受けないから光学的ひずみが少ない。このことは 3 V カラーカメラにとってレジストレーションの点で有利である。
被写体の明るさ	ターゲット電圧を上げると周辺フレアーが出るので撮像可能な照度範囲が狭い。	周辺フレアーがないので撮像可能な照度範囲が広い。
特性のバラツキ	1 本ごとに蒸着するので、バラツキが出やすい。	ロットごとに蒸着を管理するのでバラツキが出にくい。 同一ロット内のバラツキはほとんどない。

1.3 ビジコンの特性試験法

1.3.1 試験装置の設計と試作

撮像管の特性の良否は最終的には受像管上にえがき出される映像を肉眼で観察することによって判定される。したがってその試験、検査の対象には普通に計測し得る電氣的諸特性以外に、光導電面のキズやムラのように定量的表現の困難な項目も加える必要がある。また像の性質は被写体、照明光、レンズ系をはじめ撮像管から受像管までの伝送系の影響を大きく受ける。これらの事柄は撮像管の試験法、試験装置の設定に独特の面倒な問題を与えることになる。本節では筆者が実施したビジコンの特性試験の検討結果を述べるが、当時は放送用カメラについての文献、報告は数多くあっても、撮像管、特にビジコンの試験に関する報告はほとんど見当らず、基礎事項の検討から着手する必要があった。

さてビジコンの試験には試験装置が必要である。この設計に当っては上記のような撮像管試験の問題点を考慮し、定量的データと画像の定性的観測を同時に行なえるようにする必要がある。筆者の設計、試作した試験用カメラの測定系系統図を図 1.1.16 に示す。

図からわかるように、調整箇所は、信号電極、 $G_1, G_2, G_3, (G_4)$ の各電極電圧および集束(コイル)、アライメント(水平、垂直コイル)の各電流などである。測定器は $G_1, G_2, G_3, (G_4)$ 電圧計；ヒータ電圧、電流計；信号電極電圧、電流計； G_2, G_3 電流計； G_3 (負)電流計；集束電流計；アライメント電流計(水平、垂直)などである。ここで信号電極電流計と G_3 の負電流計(負電圧でイオン電流を求め、真空度を求める)は、 $m\mu A$ の真空管電圧計を用いた。また測定計器にはそれぞれジャック端子を設け、計器校正やより高精度の測定もできるようにした。試作した試験装置(測定カメラ系)の外観を図 1.1.17 に示す。なお試験装置全体としては、この他、カメラ増幅器、偏向増幅器、マスタモニタ、同期信号発生器、電源などがあり、アパーチャ補正¹⁴⁾、ガンマ補正、電磁集束の一時停止、偏向サイズの切換えなど、各種の制御調整機能をもたせた。

1.3.2 光電感度の試験法

(1) 光電感度の表わし方

撮像管の光電感度は、非常に重要な特性でありながら、統一的な定義は未だ確立されていない¹⁵⁾。ビジコンとイメージオルシコンといった動作原理の異なった撮像装置間の感度比較はもとより、同一原理の撮像管でも寸法が異なり、光電面積が変わったらどうなるかという問題もそれほど単純ではない。たとえば光電面



図 1.1.17 ビジコン試験装置の外観

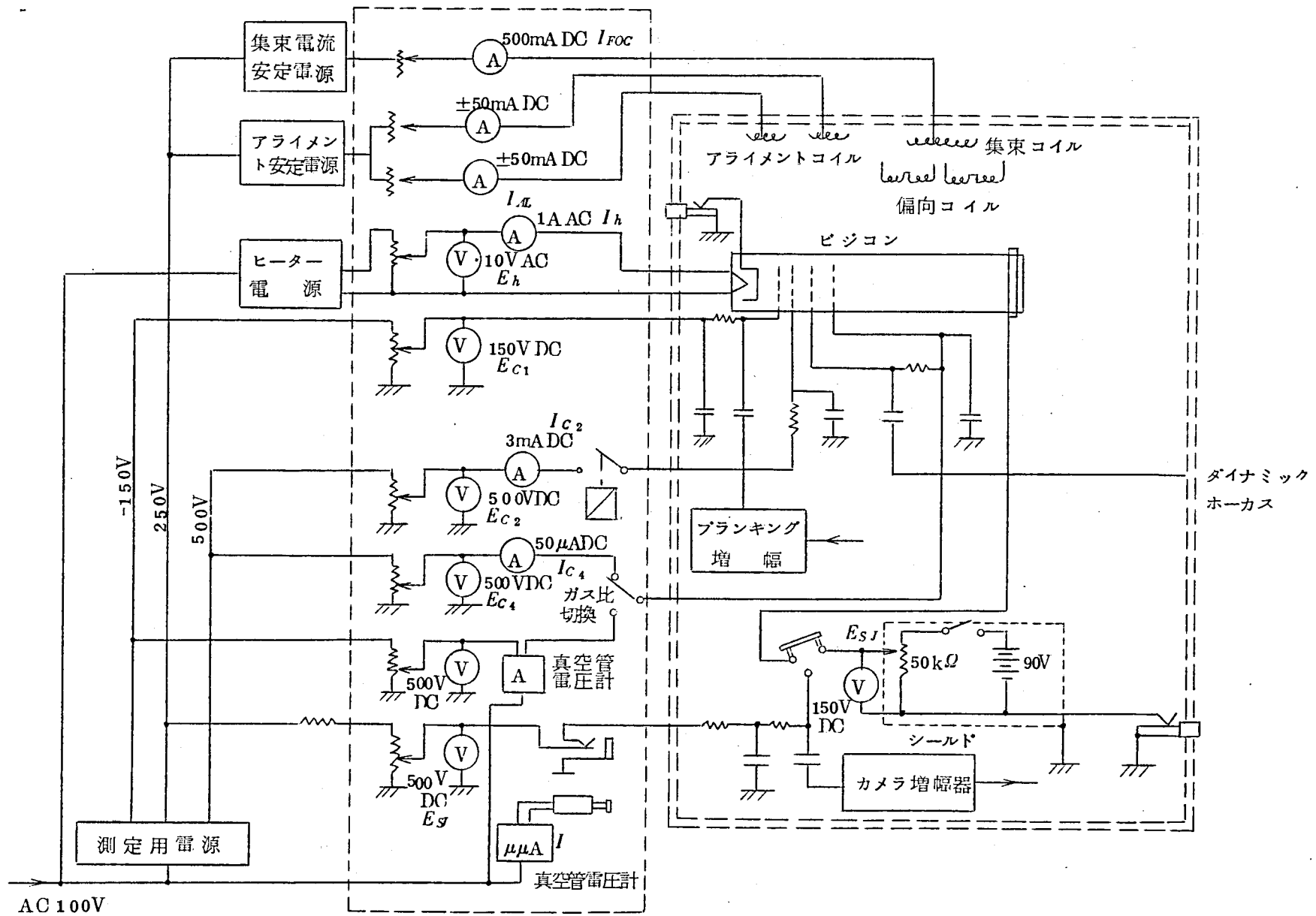


図 1.1.16 測定カメラ系系統図

寸法が m 倍増すと普通信号出力は m^2 倍となるが、同等の像を出すという条件を考えるとレンズの問題を考慮する必要がある。すなわち同じ口径のレンズを用いると、同一視野を得るためにレンズの焦点距離を m 倍にする必要を生じ、さらに同一焦点深度を得るには F 値を m 倍にする必要がある。光電面に入射する光量はレンズ F 値の自乗に逆比例するから、光量は $\frac{1}{m^2}$ になり、結局信号出力は変わらぬことになる。Bedford は上記の問題を考慮し、十分満足できる像を得る場合の光電面全入射光束 ϕ に対し、 $\phi^{-\frac{1}{2}}$ を Figure of Merit とすることを提案している¹⁶⁾。

この提案によれば、たとえばイメージオルシコン (5820)、フィルム (X)、ビジコンの Figure of Merit $\phi^{-\frac{1}{2}}$ は、それぞれ 51, 12, 10 と算出される。しかしこの数値は実際の撮像管で得られる諸データと直接的につながりがないので、実際の取扱いからは不便であり、あまり有効なものとはいえない。

またこの他にも、A. Rose¹⁷⁾ や R. C. Jones¹⁸⁾ は光電面の量子効率と雑音を中心として、撮像管の感度特性を議論している。

これらの提案は、それぞれ合理的であり、理論的には妥当な方法と考えられるが、現実の撮像管、特にビジコンにそのまま適用することは困難である。解像力はビーム特性に大きく左右され、 S/N は増幅器雑音が支配的であるという実体は、前記議論の成立つ理想条件からはあまりにも離れすぎている。また実際のビジコンの取扱いにはもっと簡明な、明確に測定し得る値としての感度の定義づけが必要とされる。

以上の次第で筆者が研究に着手したときには、ビジコンの光電感度に関する明確な定義がなく、どのような条件を想定し、何をパラメータとして特性を規定すればよいかという問題は一つの大きな検討課題であった。

ビジコンをある動作条件の下で、適当な光を入射すると信号電極から光電流が得られるが、この光電流の値を大きく左右するものは、光量、信号電極電圧、走査面積である。このうち、走査面積はビジコンの使い方から考えて、一定の条件とすべきであるので、結局、信号電極電圧が基本パラメータとなると考えられる。しかし一方、ビジコンの信号電極からは光電流とともに暗電流が同時に取出され、その値は信号電極電圧の如何によっては無視し得ない値となり、管によってその程度が非常に異なるという事実がある。

ビジコンの出力電流 I 、信号電流 (光電流) I_s 、暗電流 I_d 、信号電極電圧 E 、入射光量 ϕ の間には、次のような実験式が成立する。

$$I = I_s + I_d \quad (1.1.18)$$

$$I_s = k E^\alpha \phi^\gamma \quad (1.1.19)$$

$$I_d = k' E^\beta \quad (1.1.20)$$

ここで、 k 、 k' は各管によってきまる係数、 α (≈ 1.5)、 β (≈ 2)、 γ (≈ 0.7) はビジコンの種類によってきまる係数である。

上式から、 I_s の決定には ϕ と E 、または ϕ と I_d の 2 者を規定すればよいことがわかる。したがって規定の仕方には次の 4 通りの組み合わせが可能となる。

(a) I_s 対 E ($\phi = \text{パラメータ}$)

(b) I_s 対 I_d ($\phi = \text{パラメータ}$)

(c) I_s 対 ϕ (E = パラメータ)

(d) I_s 対 ϕ (I_d = パラメータ)

ここで今、式 (1.1.19) の k を、 E に関する成分 k_E と、 ϕ に関する成分 k_ϕ に分けて考えてみると、式 (1.1.21)、(1.1.22) が得られるが、 k_ϕ がいわゆる光電感度を意味する係数といえる。

$$I_s = k_E E^\alpha k_\phi \phi^\beta = k_\phi (k_E E^\alpha \phi^\beta) \quad (1.1.21)$$

$$I_s = k_E \left(\frac{I_d}{k'} \right)^{\frac{\alpha}{\beta}} \cdot k_\phi \phi^\beta = k_\phi \left\{ I_d \frac{\alpha}{\beta} \cdot \phi^\beta \left(\frac{k_E^\beta}{k'^\alpha} \right)^{\frac{1}{\beta}} \right\} \quad (1.1.22)$$

ここで式 (1.1.21) は (a)、(c) の場合に対応すると考えられるが、 E と ϕ を規定しても k_E が未知なるため、 k_ϕ が決定できない。

一方式 (1.1.22) は、 I_d が用いられており、(b)、(d) の場合に対応する。これは右辺最後の係数が複雑であるが、 k_E と k' 、 α と β は明暗の差こそあれ、同じピジコンの電圧電流特性の係数を示すもので、第一近似でそれぞれ等しいと考えると、この係数は 1 となり、 ϕ と I_d が規定されれば、 k_ϕ は決定される。すなわち光電感度の表現としては、ピジコンの性格から、暗電流規定の方が望ましいことが推論できる。

以下、なお具体的なデータを示しながら、光電感度定義の問題を論じてゆく。

(a) 信号電極電圧—信号電流特性

(入射光パラメータ)

出力特性としてしばしば引用されるものであり、図 1.1.18 に示すような曲線になる。これは一定量の光を入射したときの出力電流と、信号電極電圧の関係を示す。各曲線は入射光がパラメータとなっており、一定信号電流または暗電流を与える信号電極電圧が管によって大きく変動している。このことから信号電極電圧—信号電流の関係は光導電面の特性を知る手掛りとはなっても光電感度についての直接的な表現としては不適である。

(b) 暗電流—信号電流特性

前項で述べた方法の変形としてこの表現が考えられる。この例を図 1.1.19 に示す。暗電流と信号

電流の関係があきらかなことは、光導電面の特性を知るうえには非常に参考となる。(d)に後述するように、像への暗電流の影響を考えると管の特性としては曲線の傾斜が大きく、かつ左に

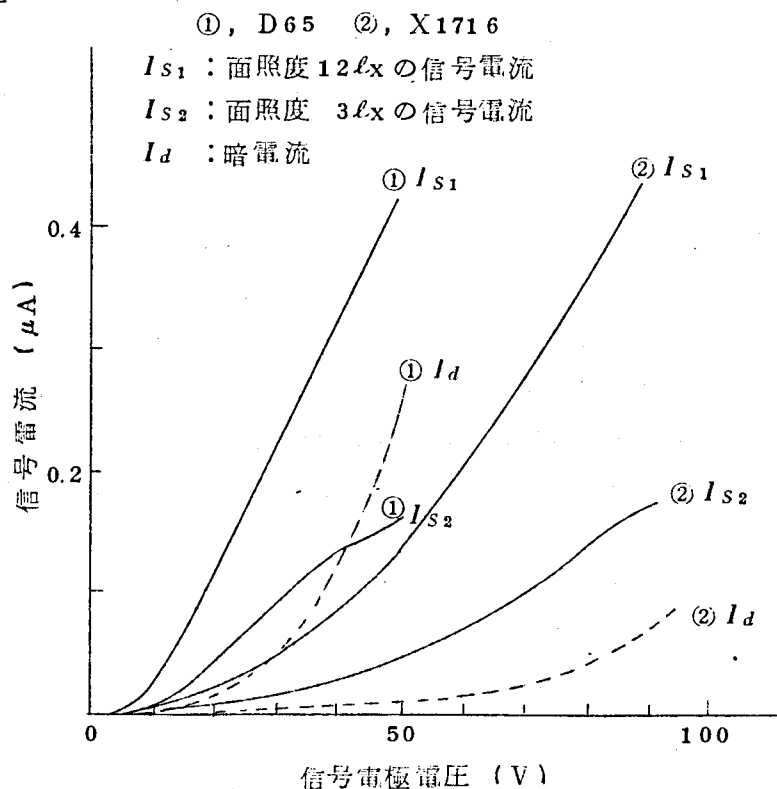


図 1.1.18 信号電極電圧対信号電流の特性例

かたよっている方が好ましい。この図では一般に暗電流の大きいところでは傾斜が小さくなっているが、これは図 1.1.18 でみたように信号電極電圧を増した場合、暗電流の増加が信号電流のそれよりも大きいことを示している。この表現法は入射光量がパラメータとなっており、同じ条件の光を与えたときしか、比較ができないのが不便である。

(c) 光束—信号電流特性（信号電極電圧パラメータ）

この表現法は出力電流のうち信号電流のみを取りあげ、信号電極電圧をパラメータにしている。この例を図 1.1.20 に示す。この方法はビジコンを取扱うものにはもっとも親しみやすいものといえる。また、この曲線の傾斜は撮像管の重要な性質の一つである光電変換係数 γ を与える。問題はこの図からもわかるように、信号電極電圧を増すと信号電流はいくらでも増加するところにある。ここで今、信号電極電圧を一定にしたあと、ある入射光量に対しての信号電流で光電感度を現わすということを考えてみよう。ビジコンは本来単なる光検知器ではなく、その役目はよい撮像効果を得ることにあるので、光導電面の厚さや蒸着条件によって同等の撮像効果を与える信号電極電圧が異なるということを考えあわせると、単に表現の便宜のために信号電極電圧を一定にしても、それは管の撮像性能とは関係のうすいものになってしまう。したがって、この表現は個々の管には意味があっても他の管との比較には役立たないであろう。

(d) 光束—信号電流特性（暗電流パラメータ）

前項で述べた光束—信号電流特性を暗電流をパラメータとして現わしみると、図 1.1.21 のようになる。ここで暗電流と像の関係を実験的に調べてみよう。信号電極電圧を高くしてゆくと、面の蒸着粒子や膜厚の不均一によるシェーディングやノイズが目立つような像となってく

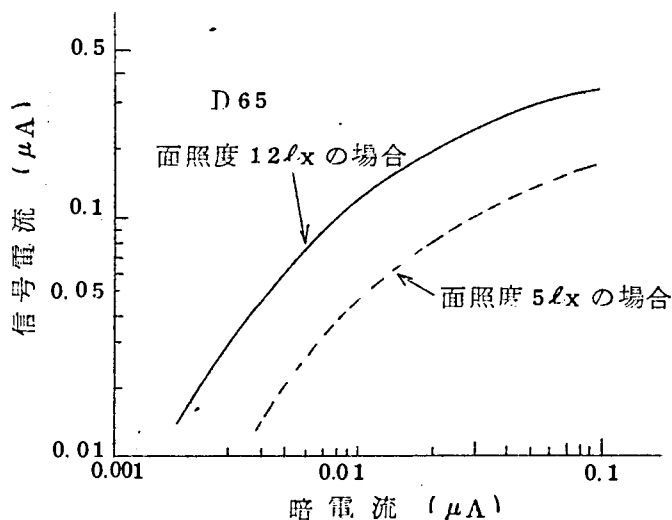


図 1.1.19 暗電流と信号電流の関係の例

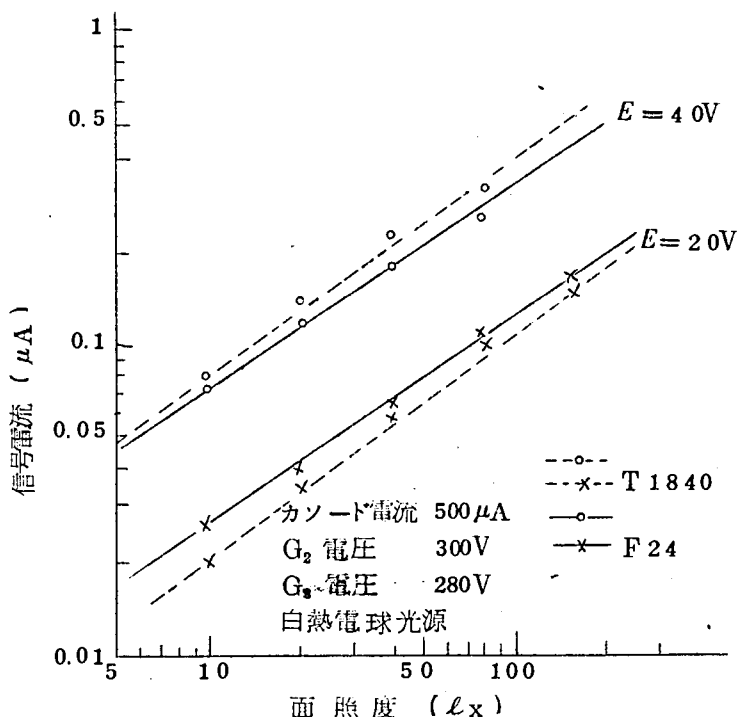


図 1.1.20 信号電極電圧をパラメータとした面照度と信号電流の関係の例

る。経験的には暗電流が $0.02 \mu\text{A}$ を越すと、これらがかなり目につくようになる。この状況を図 1.1.2.2 に示した。したがって、一定の暗電流を生ぜしめるような信号電極電圧を指定し、このような条件のもとで一定の入射光を与えた場合の信号電流の値で光電感度を定義することは、実用的に有効な方法であるといえる。現論上の根拠からではなく、経験上から次のように定義することにした。すなわち、基準の暗電流としては $0.02 \mu\text{A}$ 、基準の入射光束としては色温度 2843°K のタングステン電球によ

る光導電面照度が 10 lx となるような光量を与えることにした。また、暗電流 $0.02 \mu\text{A}$ を生ぜしめるような信号電極電圧を固有信号電極電圧 E_{00} とよぶことにする。

(2) 測定法

光電感度の測定に關して第一の問題は、ビジコンに正確な光量を与えることである。もっとも簡単には一様に照明した白色パターンを撮像し、照度計による測定値とレンズの絞り値からビジコン面照度を算出することができるが、筆者の設計した試験装置では、図 1.1.2.3 のような光源装置を用いることにした。光源ランプは水平光度を値づけした標準タングステン電球あるいはその副標準電球を使用し、面照度の基準は距離による計算値を採用した。入射光束の変化は透過率が $\frac{1}{2}$ の関係にあるニュートラル・フィルタを用いて行なった（図 1.1.2.3 の右端の回転円板にフィルタが取り付け

られていて、回転によりフィルタを切替えるようにした）。なお光電流測定については既に図 1.1.1.6 に示した光電流測定回路を用いた。光電流の大きさは $1 \mu\text{A}$ 以下の微小電流のため真空管電圧計を用いるが、漏洩電流や外部誘導の影響が大きいから慎重な注意を要する。漏洩電流は数 nA 程度であったが、湿度の高いときは、暗電流の大きさ程度に

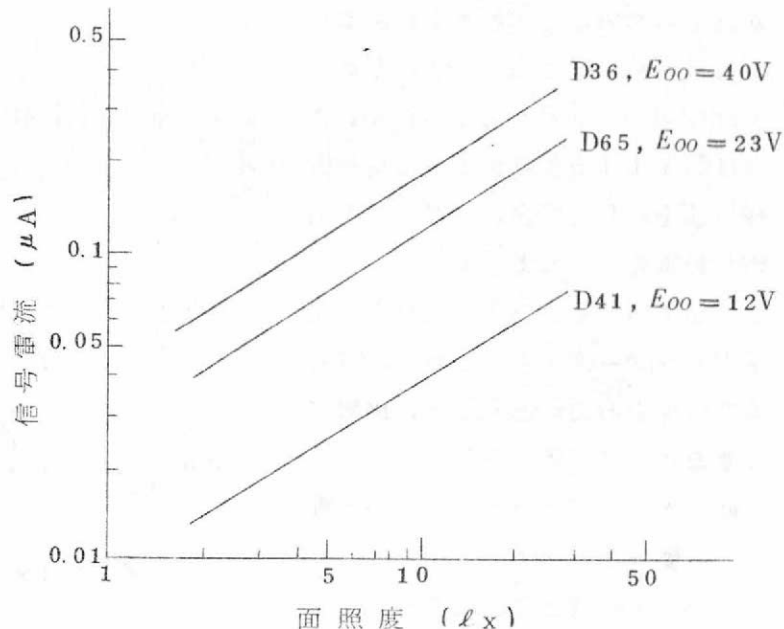
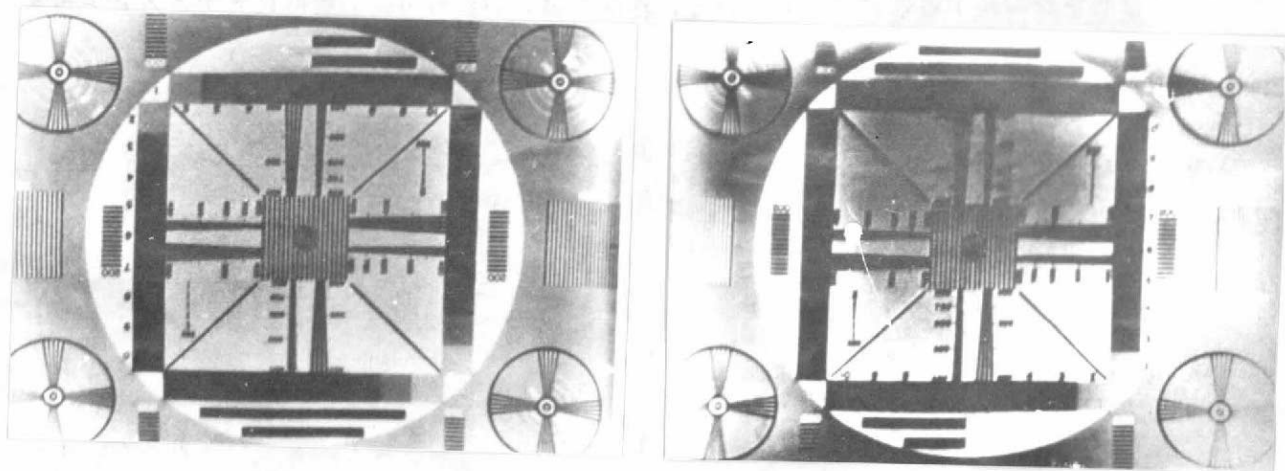


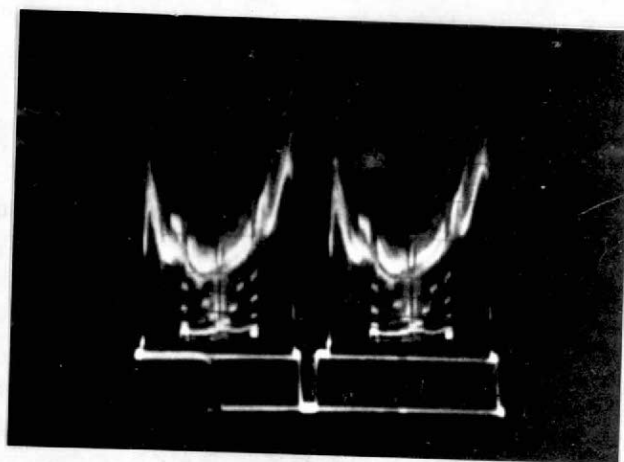
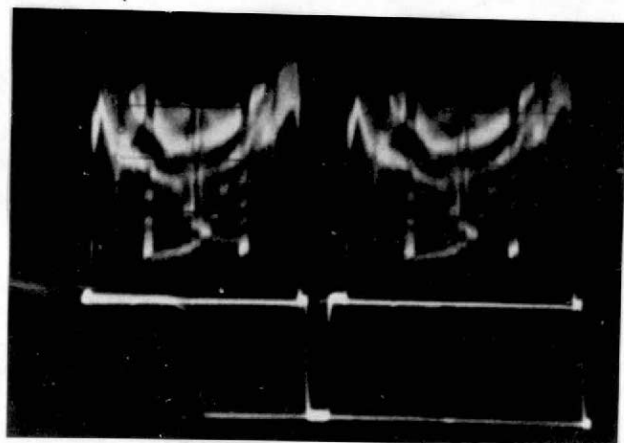
図 1.1.2.1 暗電流一定 ($0.02 \mu\text{A}$) における面照度と信号電流の関係の例



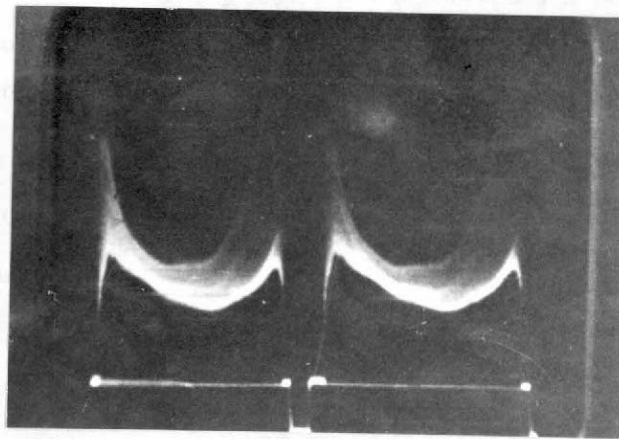
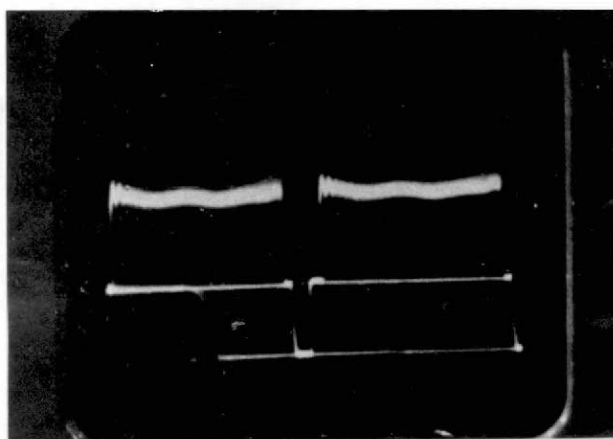
図 1.1.2.3 光源装置



映像状況



映像波形



暗電流波形

(a) 暗電流 $0.02 \mu A$ の場合

(b) 暗電流 $0.2 \mu A$ の場合

図 1. 1. 2 2 暗電流と映像の関係

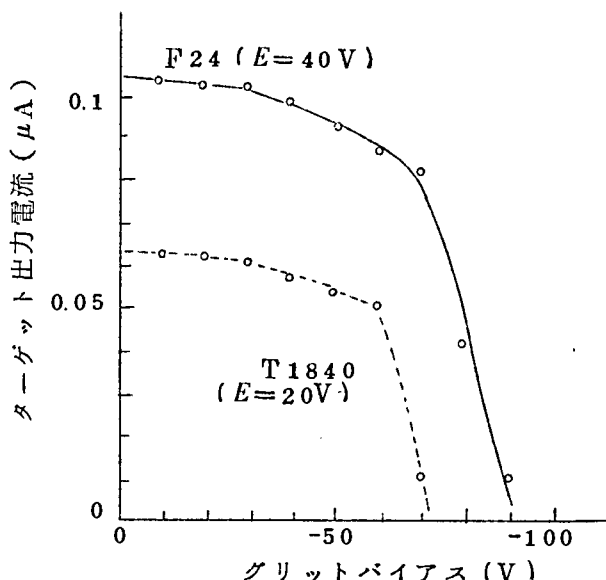
なる（電池をシールド容器に吸収しないと、外部の誘導が信号電流の程度にまでなることがある）。

次に測定上の問題について述べる。

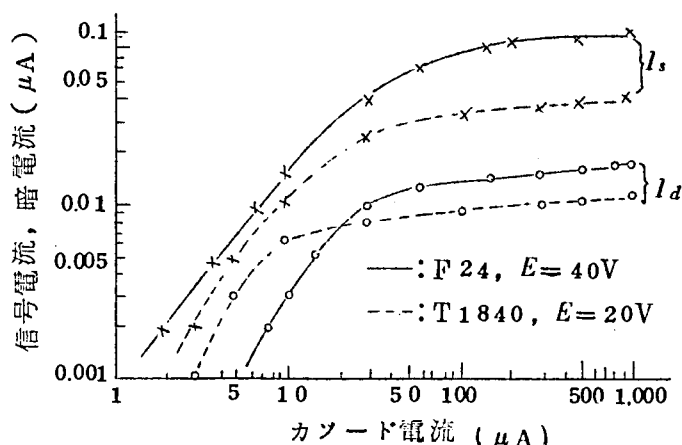
ビジコンの光電感度測定、特にターゲット電流（信号電流、暗電流）の測定に当っては、電子ビーム走査というビジコンの基本動作に関係して、いくつかの問題点があることを知っておく必要がある。

(a) ビーム電流と出力電流の関係

ビジコンのターゲット出力電流は定性的には入射光量と信号電極電圧のみで決定され、ビーム電流の大小はある値以上であれば出力電流に関係ないように考えられる。しかし、実際は出力電流はビーム電流によって変化する。図 1.1.2.4 (a) は出力電流とグリッドバイアスの関係を示すものである。モニタ像を観察すると、カットオフ以後は像は消滅し、カットオフ以前ではコントラストのほとんど変らぬ像が得られる。しかし解像力はカットオフ直前が最良で、ビジコンの最適使用条件はここにある。ビジコンの試験もこのバイアス電圧で行ない、このときの暗電流が $0.02 \mu\text{A}$ となるように、固有信号電極電圧を決定する。測定に当ってこのビーム電流設定に留意しないと、20% 程度の誤差が容易に生ずることは図からあきらかであろう。なお図 1.1.2.4 (b) はカソード電流との関係を参考までに求めたものである。



(a) 出力電流とグリッドバイアスの関係



(b) 出力電流とカソード電流の関係

図 1.1.2.4

変化は集束条件変化により生ずる走査面積変化に対応するものであることがわかった。これらのことから、光電感度測定時には、光導電面の走査面積を規定し、常に同一走査面積の条件で測定を行なう必要がある。筆者の実

験ではこれを $12 \times 9 \text{ mm}$ と定めて行なった。

1.3.3 残像の試験法

(1) 残像の一般的特性

周知のようにビジコンの最大の欠点としては残像が挙げられている。この残像は動く物体の撮像時にもっとも顕著に現われ、また実用上の障害となる。図 1.1.2.6 は残像の定性的観察に便利なメトロノームの撮像例である。

この残像の原因は、光導電ターゲットの静電容量と電子ビーム特性に関する電荷放電特性にもとづくものと、光導電物質の導電特性にもとづくものと、二つにわけて考えられ、各種の議論がなされている^{19~21)}。ここでもこれら二つの残像特性について若干の検討を行なう。

D41 ($E=20\text{V}$, $\phi=20\ell_x$)

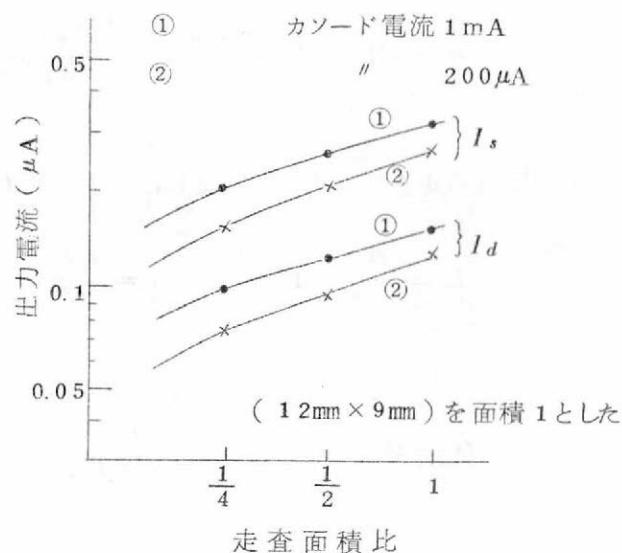
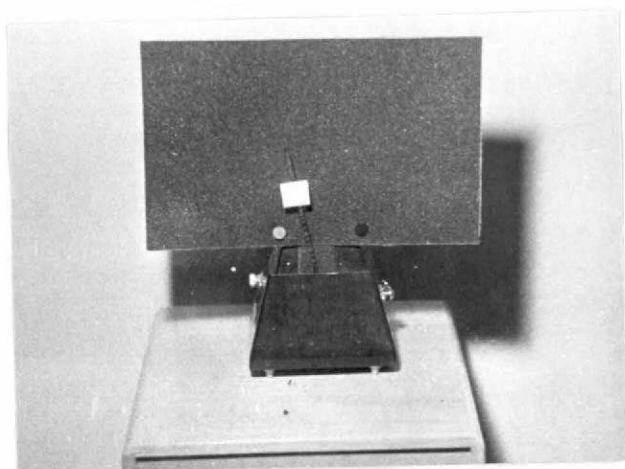
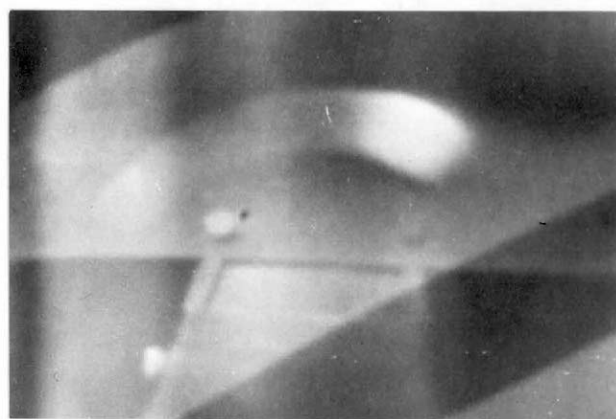


図 1.1.2.5 走査面積と出力電流の関係



(a) メトロノーム



(b) 映像状況

図 1.1.2.6 メトロノーム撮像の残像
(著しい例)

さて容量性残像についての一般的考え方は、光遮断後の電荷蓄積は無視し（暗抵抗が無限大）、残留電荷が走査毎に一定の割合で減少し、それに応じた残像電流が生ずるというものである。

今第一回の走査と同時に光を遮断したとして、そのときの出力電流 I_1 は、1.2.1 (2) 節で論じた定常状態の出力電流の式 (1.1.8) をそのまま用いて、次のごとく表わせる。

$$I_1 = \frac{CE}{\Delta T} \frac{\left(1 - \epsilon^{-\frac{T}{\tau}}\right) \left(1 - \epsilon^{-\frac{\Delta T}{\tau_b}}\right)}{1 - \epsilon^{-\frac{T}{\tau} \cdot \epsilon^{-\frac{\Delta T}{\tau_b}}}} \quad (1.1.23)$$

また、残像電荷 Q_1 は、式 (1.1.7) を用いて次式で与えられる。

$$Q_1 = CV_{S0} = \frac{CE(1 - \varepsilon^{-\frac{T}{\tau}}) \cdot \varepsilon^{-\frac{\Delta T}{\tau_b}}}{1 - \varepsilon^{-\frac{T}{\tau}} \cdot \varepsilon^{-\frac{\Delta T}{\tau_b}}} \quad (1.1.24)$$

第二回目の走査で、 Q_1 が放電し、信号電流 I_2 となり、次の残留電荷 Q_2 が残る。

$$I_2 = \frac{Q_1}{\Delta T} (1 - \varepsilon^{-\frac{\Delta T}{\tau_b}}) = \frac{CE}{\Delta T} \cdot \frac{(1 - \varepsilon^{-\frac{T}{\tau}})(1 - \varepsilon^{-\frac{\Delta T}{\tau_b}}) \varepsilon^{-\frac{\Delta T}{\tau_b}}}{1 - \varepsilon^{-\frac{T}{\tau}} \cdot \varepsilon^{-\frac{\Delta T}{\tau_b}}} \quad (1.1.25)$$

$$Q_2 = Q_1 \cdot \varepsilon^{-\frac{\Delta T}{\tau_b}} = \frac{CE(1 - \varepsilon^{-\frac{T}{\tau}}) \cdot \varepsilon^{-\frac{2\Delta T}{\tau_b}}}{1 - \varepsilon^{-\frac{T}{\tau}} \cdot \varepsilon^{-\frac{\Delta T}{\tau_b}}} \quad (1.1.26)$$

同様に、 n 回目の走査で得られる信号電流 I_n は

$$I_n = \frac{CE}{\Delta T} \cdot \frac{(1 - \varepsilon^{-\frac{T}{\tau}})(1 - \varepsilon^{-\frac{\Delta T}{\tau_b}})^n \varepsilon^{-\frac{(n-1)\Delta T}{\tau_b}}}{1 - \varepsilon^{-\frac{T}{\tau}} \cdot \varepsilon^{-\frac{\Delta T}{\tau_b}}} \quad (1.1.27)$$

残像 L_n は、 I_1 に対する I_n の比で与えられるので式 (1.1.23), (1.1.27) から

$$L_n = \frac{I_n}{I_1} = \varepsilon^{-\frac{(n-1)\Delta T}{\tau_b}} \quad (1.1.28)$$

以上のように、容量性残像については、簡単には指数関数的減衰特性と考えてよい。

なお L_n の具体的な値としては、たとえば $n=3$, $\frac{\Delta T}{\tau_b} = \frac{\Delta T}{R_b C_t} = \frac{T}{R_b C_t} \approx 0.8$ ($R_b = 10 \text{ M}\Omega$, $C_t = 2.000 \text{ pF}$; $T = \frac{1}{60}$) とすると、 $L_n = 0.20$ と算出される。

次に光導電性残像については、メカニズムが複雑であり、その一般的解析はきわめて困難なのが実情である。

ここでもっとも簡単な例として、光導電体が一種類のみの再結合中心をもち、光遮断後の自由キャリアの消失がその濃度に比例する場合を考えてみる。この条件では、キャリア濃度を n_c 、その初期値を n_{co} 、再結合の時定数を τ_R として次式が成立する。

$$n_c = n_{co} \varepsilon^{-\frac{t}{\tau_R}} \quad (1.1.29)$$

さて光遮断時第一回の信号電流は、ビームによる完全放電を仮定すると基本式 (1.1.1) で与えられるが、光導電性残像を論ずる場合、光導電膜の時定数が変化することを考慮し、光入射時の時定数 τ を、 $n_c = n_{co}$ に対応して τ_0 と書改め、次式のごとく与える。

$$I_1 = \frac{CE}{\Delta T} (1 - \varepsilon^{-\frac{T}{\tau_0}}) \quad (1.1.30)$$

なお τ_0 と n_{co} の関係は、膜厚を d 、易動度を μ_c 、電荷を e として次式のごとくである。

$$\tau_0 = \frac{C d}{n_{co} e \mu_c} \quad (1.1.31)$$

走査終了後のフレーム期間中，キャリアの再結合によって光導電膜には電流 i が流れ，膜にかかる電圧 v は変化し，電荷の蓄積が行なわれている。この状態は次式で表わされる。

$$i = \frac{e \mu_c n_c}{d} v = \frac{C v}{\tau_0} \varepsilon^{-\frac{t}{\tau_R}} \quad (1.1.32)$$

上式を， v ， t に関してフレーム期間の積分を行なうと次のごとくなる。

$$\int \frac{dv}{v} = \int_0^T \frac{\varepsilon^{-\frac{t}{\tau_R}}}{\tau_0} dt \quad (1.1.33)$$

式 (1.1.33) から表面電位の変化が計算できる。

$$V_{s1} = E - E \cdot \exp \left[\frac{\tau_R}{\tau_0} \left(\varepsilon^{-\frac{T}{\tau_R}} - 1 \right) \right] \quad (1.1.34)$$

したがって，第二回の走査による出力電流は次のようになる。

$$I_2 = \frac{CE}{dT} \left[1 - \exp \left\{ \frac{\tau_R}{\tau_0} \left(\varepsilon^{-\frac{T}{\tau_R}} - 1 \right) \right\} \right] \quad (1.1.35)$$

同様にして，第 m 回の走査による出力電流は

$$I_m = \frac{CE}{dT} \left[1 - \exp \left\{ \frac{\tau_R}{\tau_0} \left(\varepsilon^{-\frac{T}{\tau_R}} - \varepsilon^{-\frac{T}{\tau_R}} \right) \right\} \right] \quad (1.1.36)$$

したがって，残像値 L_m は次のごとくなる。

$$L_m = \frac{I_m}{I_1} = \frac{1}{1 - \varepsilon^{-\frac{T}{\tau_0}}} \left[1 - \exp \left\{ \frac{\tau_R}{\tau_0} \left(\varepsilon^{-\frac{T}{\tau_R}} - \varepsilon^{-\frac{T}{\tau_R}} \right) \right\} \right] \quad (1.1.37)$$

光導電性残像については，上記のような簡単な仮定であっても容量性残像に比べて複雑な数式表現となる。なお数値例として，もっとも簡単な場合を考えると， $m=3$ ，

$T = \tau_0 = \tau_R = \frac{1}{60}$ とおくと， $L_m = (1 - \varepsilon^{-0.2326}) / (1 - \varepsilon^{-1}) = 0.334$ が得られる。

以上ビジコンの残像の性格について述べた。容量性残像と光導電性残像の割合は，条件により異なるが，上記数値例のように，ほぼ同程度と考えるのが一般的であろう。

以上ビジコンの残像に関する基本的考察を述べたが，残像特性も感度の場合と同様に，影響する因子が多く，理論面だけで具体的な議論をすることは困難である。ほとんどの場合が実験データによって議論され，評価されるのが実情である。したがってビジコンの開発にあたって精度の高い，再現性のあるデータを得る測定法は不可欠の技術となる。筆者がビジコン研究に携った時点では，このビジコンの残像測定法として技術的根拠のしっかりしたものはなかった¹²⁾。筆者はこの問題について初値のレベルから各種の方法を検討，実験し，信頼できる測定法を確立した。以下実験諸例を紹介する。

(2) 残像測定法

(a) 一般的測定法

(i) 電磁オシログラフ法

残像の測定には最初電磁オシログラフを用いた。図 1.1.27 はその系統図であり、結果の一例を図 1.1.28 に示す。この方法の欠点は、電磁オシログラフの操作や、写真現像の不便に加えて、記録印画紙の感度不足によって帰線消去レベルが明確に記録されないことで、精度の点でも不満足な方法である。

(ii) 全光電流減衰特性のブラウン管オシロスコープによる測定法

電磁オシロスコープの代りに、ブラウン管オシロスコープを用いた残像測定回路を図 1.1.29 に示す。オシロスコープとしては残光性直流入力形が適当であり、実験ではシャッタに簡単な接点を設け、光の遮断と同時に単掃引をトリガできるようにした。掃引の速度や直線性は CR によって調整できる。測定例を

図 1.1.30 に示す。この方法は簡便であるが、図からも明らかなように波形が複雑で、また、測定値の算出が困難なのが欠点である。

(iii) ラインセレクト法

光導電面の特定部分の残像特性を知るために、たとえば走査線一本を抽出して、この部分の信号の減衰特性を測定すればよい。テレビの走査線を抽出する方法は一般にラインセレクト法^{13,23,29)}といわれ、特に新しい方法ではないが、筆者はこれを残像測定に導入することを試みた。そ

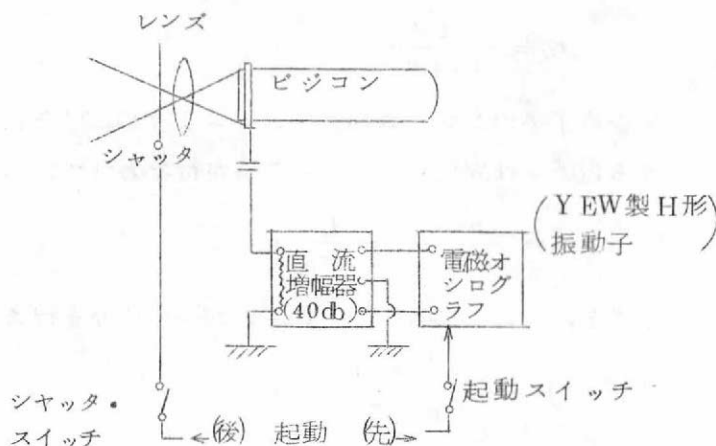


図 1.1.27 電磁オシログラフによる残像の測定

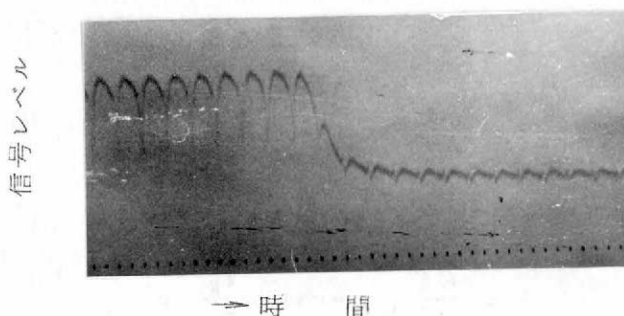


図 1.1.28 電磁オシログラフによる残像測定の記録例

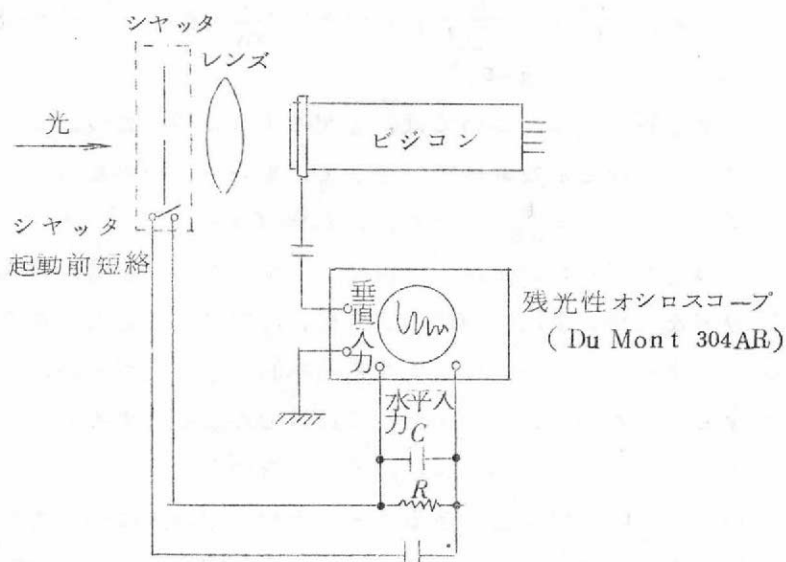
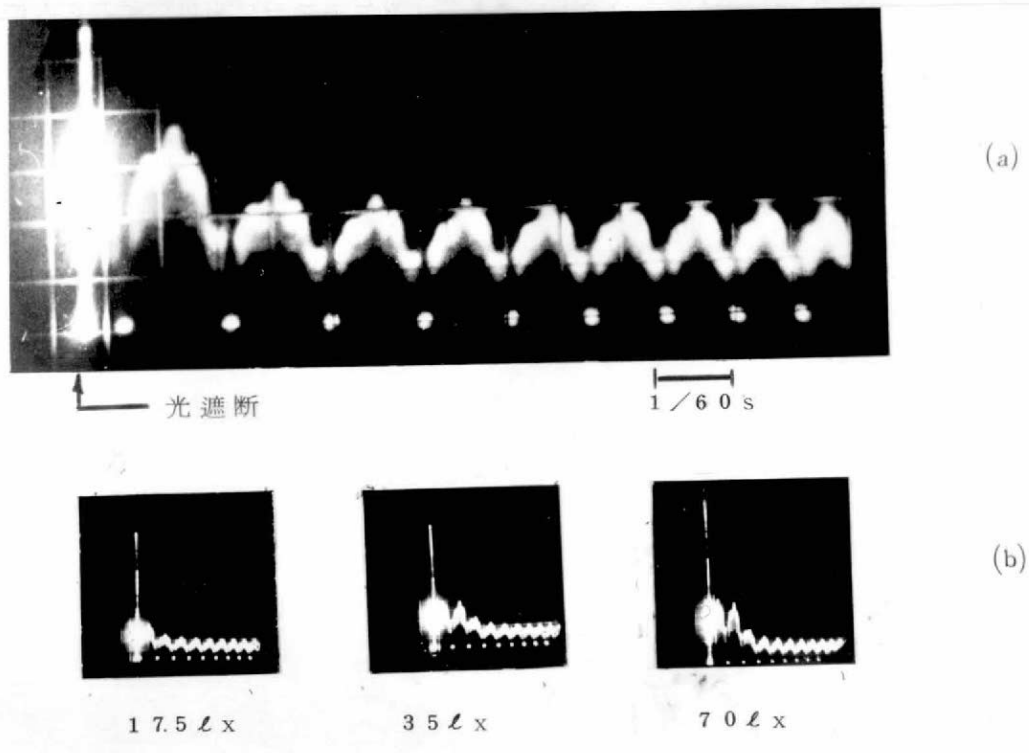


図 1.1.29 オシロスコープによる残像測定回路
(全電流記録法)



(a) 観測記録波形

(b) 入射光を変えた場合（信号電極電圧一定）

図 1.1.30 オシロスコープによる全電流式残像記録の例（その 1）

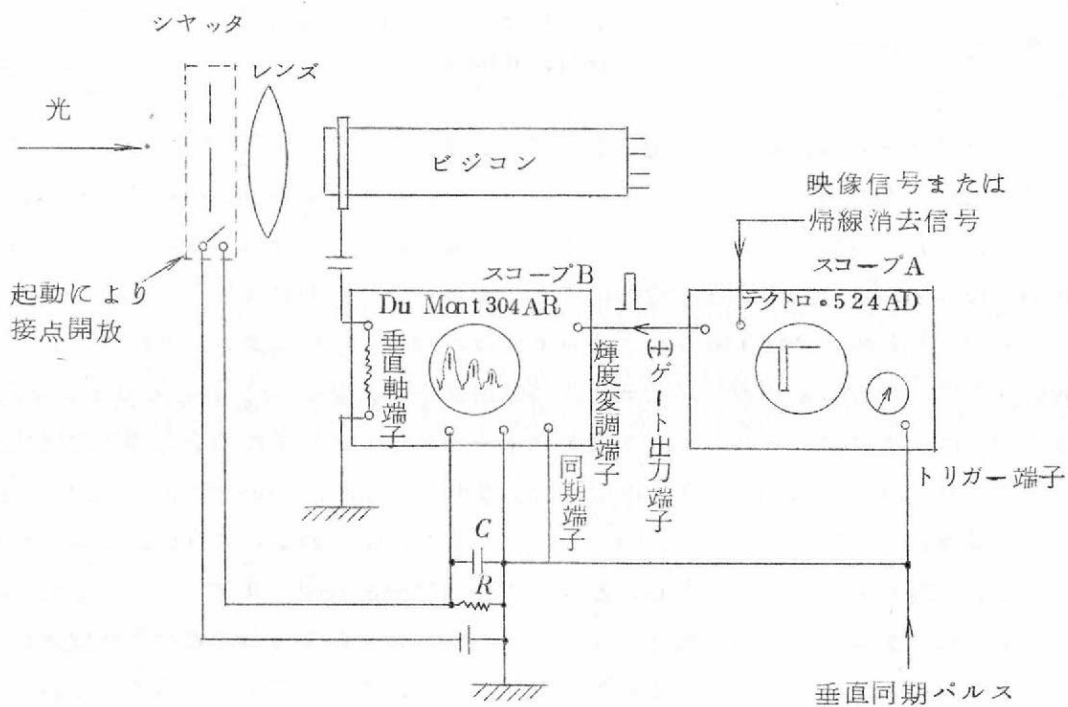


図 1.1.31 ラインセレクト法による残像測定回路

して前述の測定装置に、ラインセレクトのできるオシロスコープを付加することにより、特別の新回路を組むことなく目的を達することが可能なことを見出した。図 1.1.31 にこの接続法を示す。

この動作を簡単に説明すると、まず A スコープではトリガ遅延により一垂直走査期間内のある選定された一水平走査線部分の信号を抜出し、その掃引幅に対応するゲートパルスを取り出す。B スコープでは一垂直周期分のビジコン信号が表示されるが、ここで先のゲートパルスにより輝度変調をかけ、一水平周期分の信号のみが光るようにする。最後にシャッタと同期して外部から電圧をかけ、B スコープの偏向中心がゆるやかに移動するように単掃引する。

このようにして信号電流減衰曲線を求めたのが図 1.1.32 で、この測定例は一定信号電極電圧のもとで入射光量を変えたときの一連のデータである。

この方法は特定部分の信号を抽出している上、データがきれいであり、測定精度が若干高い利点がある。しかしオシロスコープ 2 台の使用や最初の調節がやや面倒であるという欠点がある。

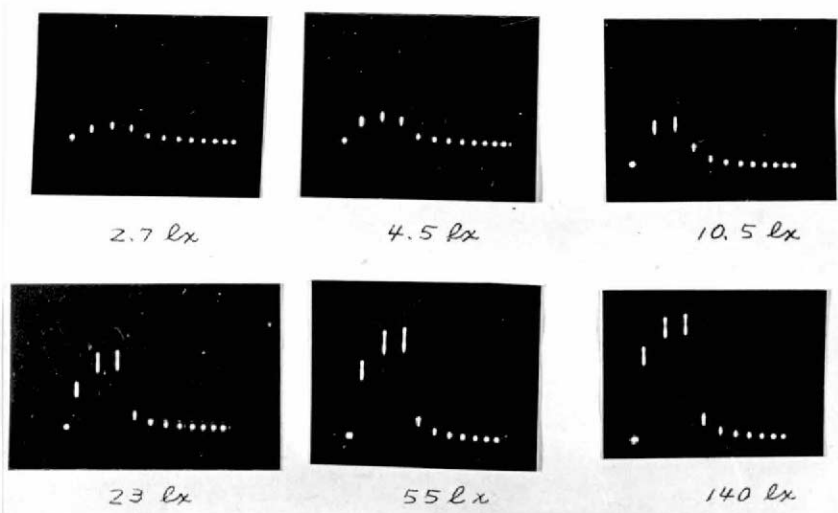


図 1.1.32 ラインセレクト法による入射光と残像の関係の測定例
信号電極電圧 35 V 一定, D75
暗電流 $0.02 \mu\text{A}$

(b) 回転セクターを用いる簡易測定法 (RCA 法)

いままで述べてきたいくつかの方法により、かなりくわしいビジコンの残像特性が得られるようになったが、多数の管の測定 (特に生産品の検査などに直結せしめる場合) には複雑すぎて実用的でないという欠点がある。それでより簡便な法として RCA 社で採用している方法を検討した。同期電動機 (240 rpm) でスリットのある円板 (回転セクタ) を回転し、光導電面への入射光を断続させる。円板はたとえば光の通過が $\frac{1}{5}$ 秒、遮断が $\frac{1}{20}$ 秒となるように設計される (光の入射は 12 フィールド、遮断は 3 フィールド)。そしてこのときの出力光電流を残光性直流オシロスコープに加えてその波形を観測すれば $\frac{1}{20}$ 秒後の残像の大きさが測定される。図 1.1.33 はこの装置と波形の説明図である。この図からわかるように最大信号レベルを 100% とし、暗電流レベルを 0% としたとき、光遮断の一定時間 (3 フィールド) 後どのレベルまで信号が減衰するかによって残像量をきめようとするものである。この方法はオシロスコープの目盛りを読むだけなので、多くの管の試験測定にはきわめて便利である。この方法でとった残像特性を図 1.1.34 に示す。

この図を詳細に検討してみると、波形の各時間位置におけるレベルがかなり変動しているこ

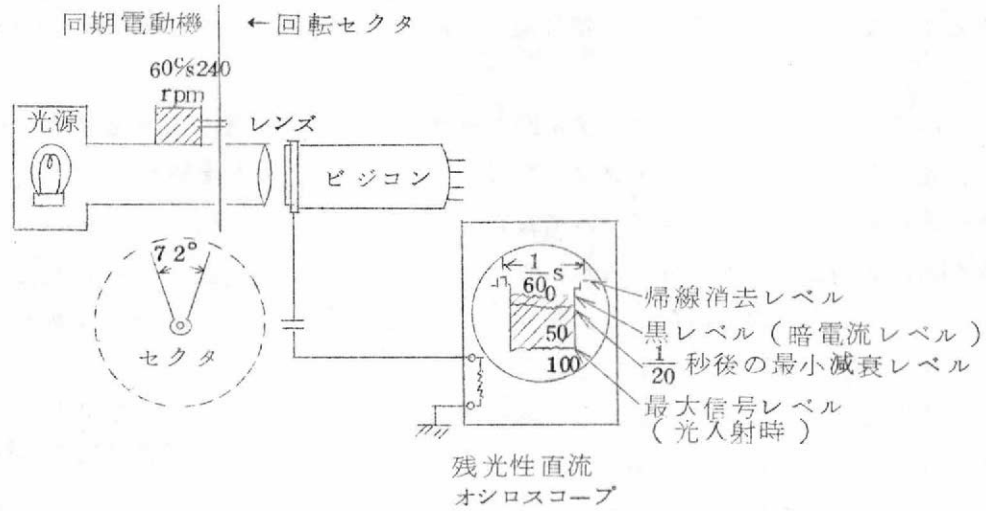
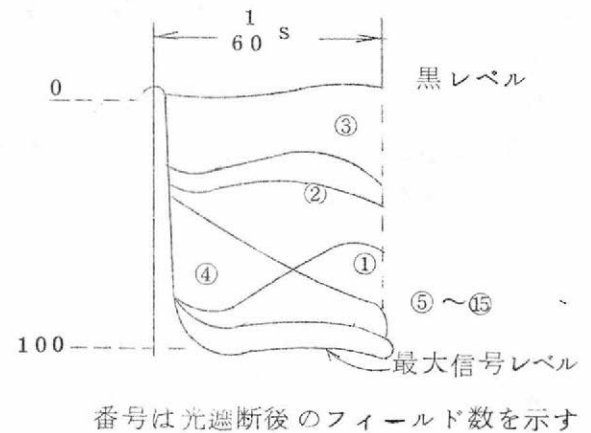
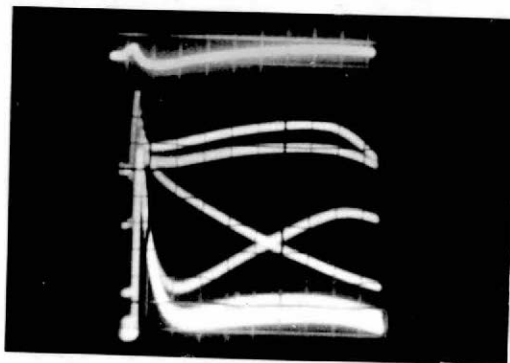


図 1. 1. 3 3 回転セクタによる残像測定法



番号は光遮断後のフィールド数を示す

図 1. 1. 3 4 回転セクタ法による残像記録写真

とがわかる。これは光導電面の膜厚の不均一，照明ムラ，ビームランディングの影響，光入射時間のズレ等に起因している。したがって，この方法は測定精度と結果の再現性の点で不確実である。

(c) 改良回転セクタ法

b)の方法は簡便であるが，欠点もある。したがって，実用的に便利であるこの方法に，減衰の全推移を観察し得るラインセクタ法の

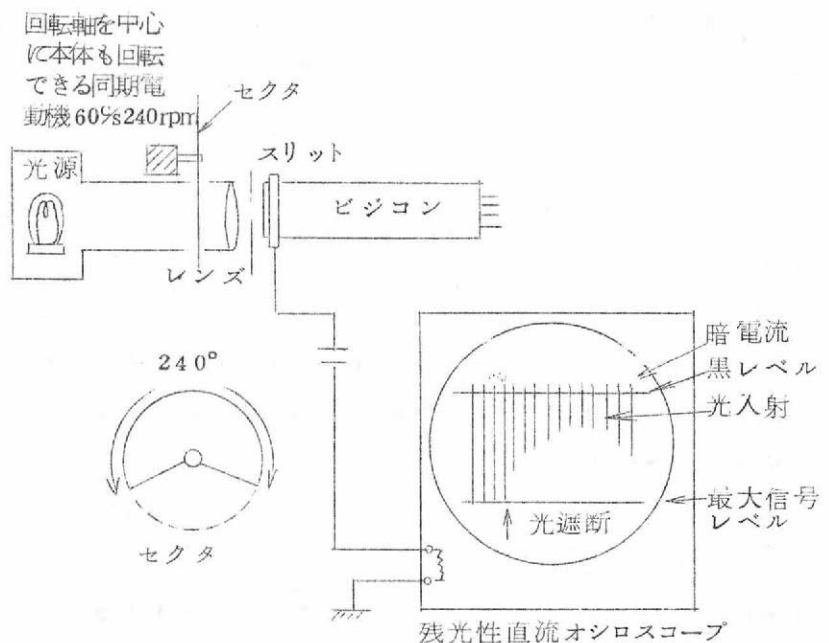


図 1. 1. 3 5 改良回転セクタ法による残像測定装置

考え方を併用すれば、非常に良い方法となるであろうと考えた。またさらに、光遮断の時刻を規定できるようなものであればさらに都合がよい。以上の考え方にもとづき新しい測定法を開発した。

この方法の説明図を図 1.1.35 に示す。回転セクタは 240° の遮光板をもち 240rpm の同期電動機で回転される。ビジコンとセクタの間に幅の小さいスリットを設ける。

なおセクタとビジコンの位置関係については、

図 1.1.36 (a), (b) の二者が考えられるが、これは当然のことながら (b) が用いられる。試験装置ではセクタの回転半径を 9.5cm にとったので、回転速度は中央で約 3m/s となり、セクタが光導電面を横切る時間は、(a) の場合は 6ms (1 フィールドの約 $\frac{1}{3}$)、(b) の場合、スリット幅を 1mm として約 0.3ms となる。

さてこの方法による測定の順序は次のようになる。

- (i) 回転セクタにより入射光を断続する。
- (ii) 残光性オシロスコップの掃引を 15 フィールド繰返しにとる。

(iii) 入射光をスリットを通して光導電面に与えるようにし、必要に応じ光導電面に与えられる光の位置が変わるように位置を調整する。

(iv) セクタ駆動用電動機の本体をシャフトを軸として微動回転させ、オシロスコップの上の波形を見ながら光の遮断時刻とビジコンのビーム走査開始時刻を後述のように適当な位相で同期させる。

(v) こうしてオシロスコップ上に現われる減衰波形がビジコンの残像特性を与える。

ここで (iii) のスリットの働きがラインセ

クタの働らきに相当し、(iv) の操作がこの新しい方法の特長となっている。スリットの働らきにより残像信号がパルス状となり、15 フィールド ($\frac{1}{4}$ 秒) の期間安定して観測されるので、減衰特性がラインセクタ法と同様に明確に求められるし、指定時間の残像レベルを読めば前項の回転セクタ法と同様な残像特性が得られる。セレクトする位置や大きさもスリットの位置や大きさに応じて、映像モニタ上の像を見ながら任意に変えられる。つぎに光遮断時刻のとり方について説明を加える。いま任意に電動機のスイッチを入れそのまま波形を観察すると、その都度同一ビジコンを同一条件で動作させても図 1.1.37 に示すように相異なる減衰曲線が得られる。これは光遮断と走査ビームの走査開始の位相が異なるために電荷蓄積効果も変わる

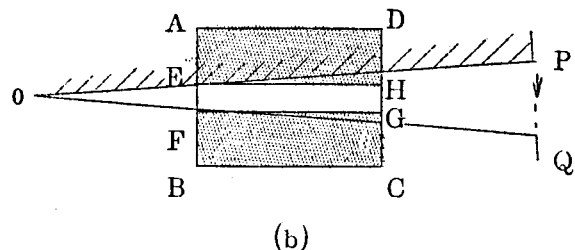
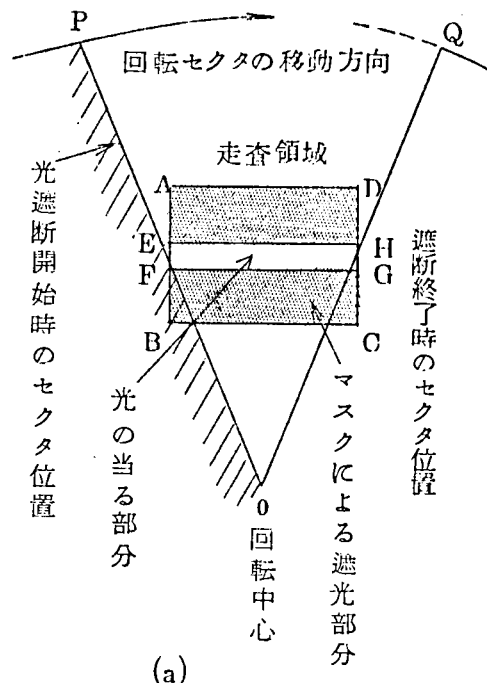
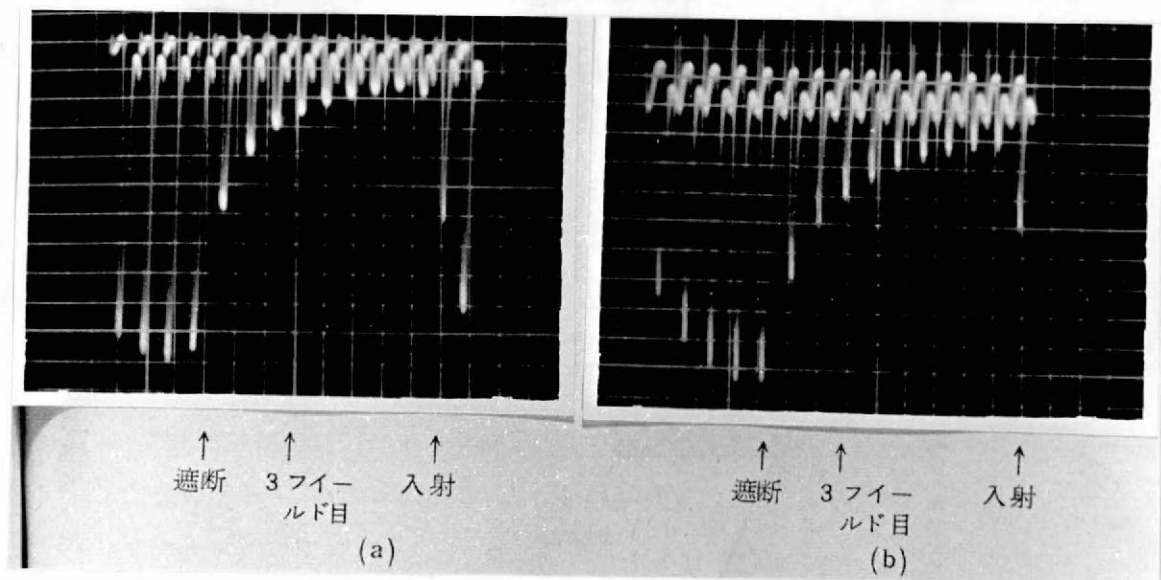


図 1.1.36 セクタ円板とビジコン光導電面の位置関係



- (a) 光遮断とビーム走査を正しく同期させた場合
 (b) 光遮断とビーム走査の同期位相が不適切なため、蓄積効果の影響が現われている場合

図 1. 1. 37 同一動作条件下における残像特性の測定記録の差

からである。これについてさらに詳しく検討を加えてみよう。

いま電荷蓄積効果が露光時間に対して直線的であり、暗時における電荷の漏洩消失がなく、かつ残像のない理想的なビジコンを仮定し、これに今迄の残像測定法を適用したと考える。この場合の時間と蓄積電荷の関係を示したのが図 1. 1. 38 である。ここでは光遮断には W なる時間幅を与えてある。

さて、ビジコンの出力電流はビーム走査を受けたとき、その時間内に放電される蓄積電荷で表わされると考えられるからこの図からわかるように、ビーム走査と、光遮断時刻の位相によっては、残像のない管でも一見残像状の減衰が始めに見られることになる。すなわち、ビーム

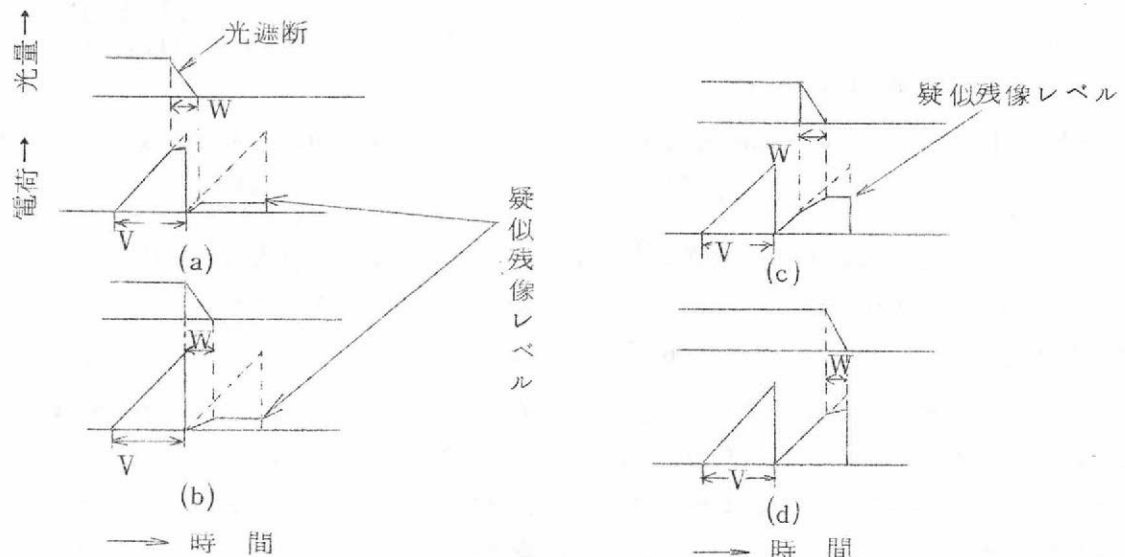


図 1. 1. 38 光遮断時刻と特定絵素の蓄積電荷量

走査と光遮断の位相を適当にとらなければ、最初の波形には本来の光電流の蓄積と、真の残像信号とが重畳され厳密な特性を示さなくなる。このような蓄積効果の影響のもっとも少ないのは、この図の(d)の場合である。したがって、光遮断の時刻とビームの走査開始時刻の相対的位相は、(d)のように調整する必要がある。

この位相合わせについて、筆者はセクタの位相を動かす方法を考案した。すなわち測定に当って、回転しているセクタの電動機の本体を回転させて、オシロスコープの最後の光電流パルスレベル波形を見ながら、これを最高レベルの線よりもごく僅か下るような位置に持ち来たせば、光遮断とビーム走査の同期がとれ、もっとも適当な条件が与えられたことになる。実際にはこの操作はきわめて容易である。

この測定法による実験例は既に図 1. 1. 3 7 (a) に示した。

(3) ビジコンの残像特性の表わし方

前項では種々の残像特性の測定法を論じたが、ここでは測定条件と残像値の表現方法について考えてみる。測定条件の決定には、まず各種動作条件の及ぼす残像特性への影響を検討する必要がある。図 1. 1. 3 9 は入射光量を一定にして信号電極電圧を変えたときの残像特性の一例であり、この結果から、信号電極電圧の低いほど残像は少なくなることがわかった。次に図 1. 1. 4 0 は信号電極電圧を一定にして、入射光量を変えたときのデータであり、これから入射光量が大きいほど残像は減少することが判明した。

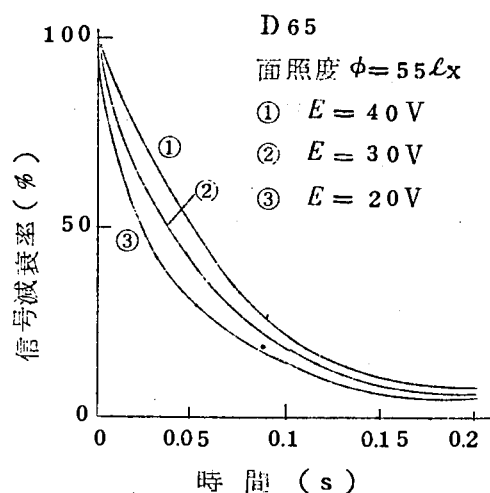


図 1. 1. 3 9 信号電極電圧と残像

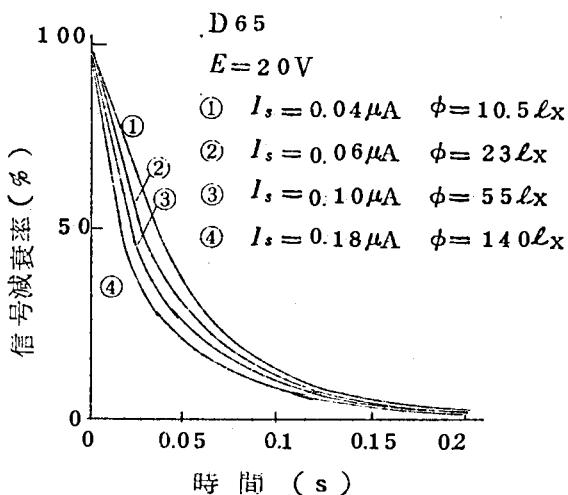


図 1. 1. 4 0 信号電流 (面照度) と残像

以上のような測定結果から、残像値を表わすには実際の使用に近い適当な条件を規定して測定する必要があることがわかる。そこでこの条件として、光電感度試験の場合と同様な条件を規定することにした。すなわち暗電流 $0.02 \mu\text{A}$ を与える固有信号電極電圧、光電流 $0.2 \mu\text{A}$ を生ぜしめる入射光量、最良の映像を得るのに過不足なきビーム電流、走査面積 $9 \text{ mm} \times 12 \text{ mm}$ を条件とし、光遮断後 3 フィールド目 (50ms 後) の信号残存率を百分率で表現することとした。

3 フィールドをえらんだ理由は、1 ~ 2 フィールド目は先に述べたような測定法による誤差の影響を受けやすいこと、4 フィールド以後では一般に信号レベルが小さく、測定誤差が大きくなるためである。なおビジコンのビーム走査は 2 : 1 の飛越走査であり、理論的にはフレーム

を単位として論ずべきであるが、実際はビームの拡がりによってフィールドを単位とした信号発生を行なっているため、上記のような残像測定時間をえらんだ。

1.3.4 その他のビジコン特性の試験法

(1) 一般的試験

ビジコンの一般的試験は前記光電感度、残像を含めて表 1.1.3 に示すべき項目について行なう。この検査は試作および製品化の初期では全数試験であり、その規格値は品種により、また性能向上によって時期ごとにそれぞれ若干の差異はある。

(2) 分光感度の測定

分光感度の測定には較正された分光器（モノクロメータ）を使用するのが基本である。しかしモノクロメータからの出力単色光は一般に強度が低く、ビジコン信号電流が十分とれず、精度が不十分になりがちである。またモノクロメータとビジコンカメラとの接続などに实际的な困難が生じやすい。そこで一時干渉フィルタを用いる簡易測定法なども検討したが、やはり精度の点に疑念があった。このため従来イメージオルシコンの試験に用いられていたラゴリオ色度表による色感度測定法の適用を検討し、実用試験にはこれを採用することとした。以下これに関する実験結果について述べる。

この方法はビジコンカメラを前述のような正規の動作条件のもとで動作させ、ラゴリオの色度表に規定の照明を与え、その映像を観察しながら分光感度一色感度と呼ぶのが適当なものを求めるものである。ラゴリオ色度表は Lagorrio の創案になる感色試験表であり、29 段のグレイスケール帯 25 本を縦に並べ、その間に 24 本の色帯を配列したものである。グレイスケールは反射率 89 % から 3.5 % の間に存在し、色帯は主波形（Dominant Wave-length）が $630\text{m}\mu$ から $458\text{m}\mu$ の間のスペクトル波長のもの 19 枚と補色が $495\text{m}\mu$ から $561\text{m}\mu$ の間にある非スペクトル波長のもの 5 枚、計 24 枚で構成される。この色度表を感光器に投影すると、各色帯に対する感度とグレイスケールの明暗に対する感度が、感光器の特徴に応じてそれぞれ一致するある位置がきまるはずである。この一致する明るさの点を、各波長の色帯に対して連ねると一つの曲線が得られる。これがその感光器の色感度を示すことになる。たとえば、この色度表を肉眼で直接眺めると肉眼の色感度曲線が得られる（筆者は中村色彩研究所製のものを用いた）。

表 1.1.3 ビジコン試験項目および現行規格

試験項目		規格	
		Min	Max
1	ターゲット電極容量 (pF)	3	6
2	フィラメント電流 I_f (mA)	540	660
3	最大 G_2 電流 MI_{C2} (μA)	1,000	—
4	ターゲット電圧 E_{SJ} (V)	10	100
5	水平アライメント (mA)	-40	+40
6	垂直アライメント (mA)	-40	+40
7	解像力 (中央部)	550	—
8	解像力 (端部)	350	—
9	カット・オフ E_{C100} (V)	-45	-100
10	光電感度 I_{SJ} (μA)	0.65	—
11	残像 (%)	—	30
12	光導電面状態 ターゲット・キズ メッシュ・キズ 信号均一度 (シェーディング) 焼付 その他		

注：残像は光遮断後 50 ms のときの値である。

さてビジコンカメラでこのラゴリオ図表を撮像すると図 1.1.4 1 のような映像が得られる。この映像をみて各色帯のグレイスケールの像の明るさの一致した点を詳しく求めると、図 1.1.4 2 のようになる。実際にはこの一致は必ずしも明確ではなく、僅かの幅をもった带状曲線として認められる。識別困難な明度幅は数段階にも及ぶこともあり、観測者による個人差もある。この方法を正確に行なうには、ラインセレクト方法を用いればよい。この結果を図 1.1.4 3 に示した。

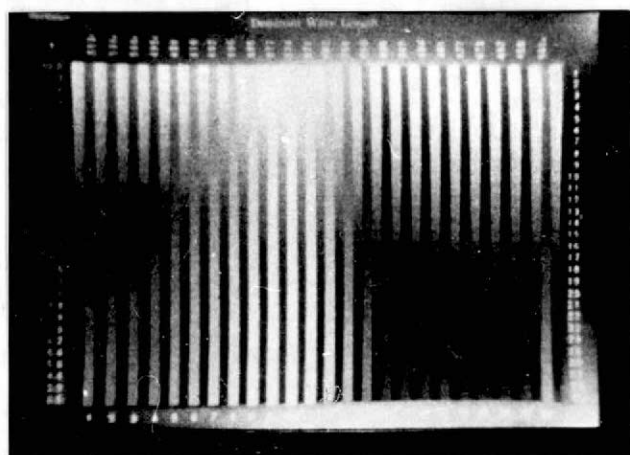


図 1.1.4 1 ビジコンでうつした色度表の映像

一方、上述のように測定する色感度は、照明条件によって異なってくる。

この問題を調べるため色温度の異なる白熱電球や蛍光灯で照明して実験した。図 1.1.4 4 はこの結果であり、白熱電球の場合には、色温度がかなり異なっても測定値はたかだか観測誤差程度の相違しか示さないことがわかる。数百度の色温度の差に対して、差は最大 3 ~ 2 段階である。しかしけい光灯と白熱電球との差は著しい。けい光灯の場合、長波長部分が低下し短波長側で高くなっている。二つの光源の分光輻射特性の差から当然のことといえる。

信号電極電圧その他の動作条件を変えても色感度特性はほとんど変化しなかった。したがって、この測定では照明の種類と条件を規定すれば、他の動作条件にはそれ程厳重な注意を払わなくてもよい。また、色度表の上の照明のムラのないように注意をする必要はあるが、隣り合

主 波 長 (nm)

グレイ反射率 (%)

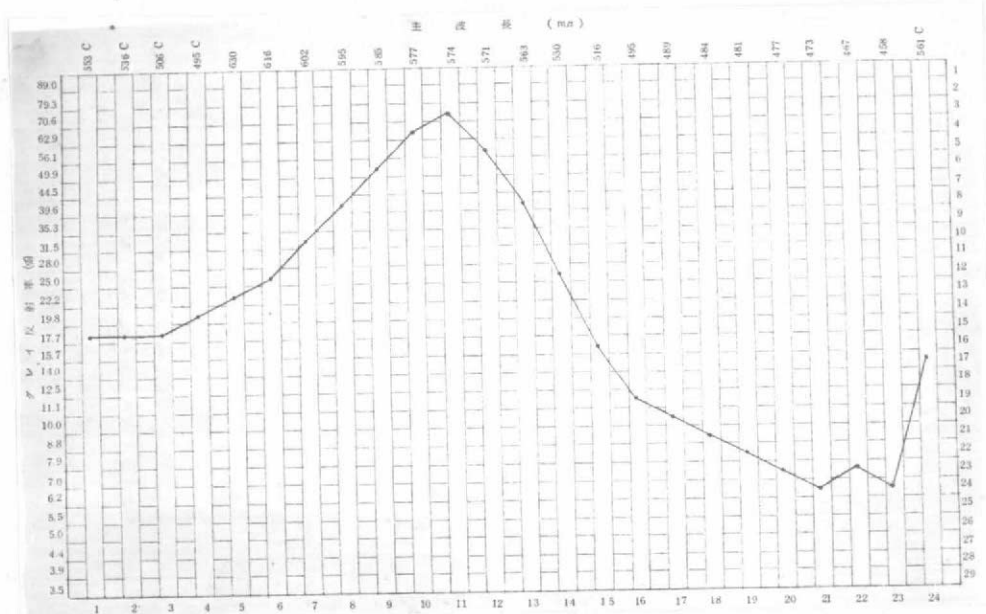


図 1.1.4 2 ビジコン色感度特性の一例

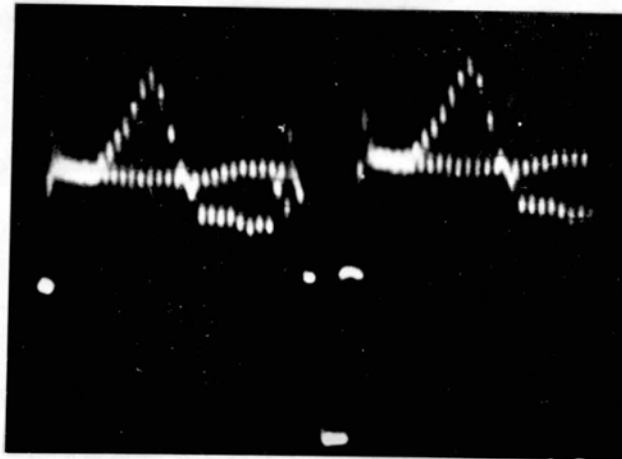


図 1.1.4.3 色度表のラインセレクト波形

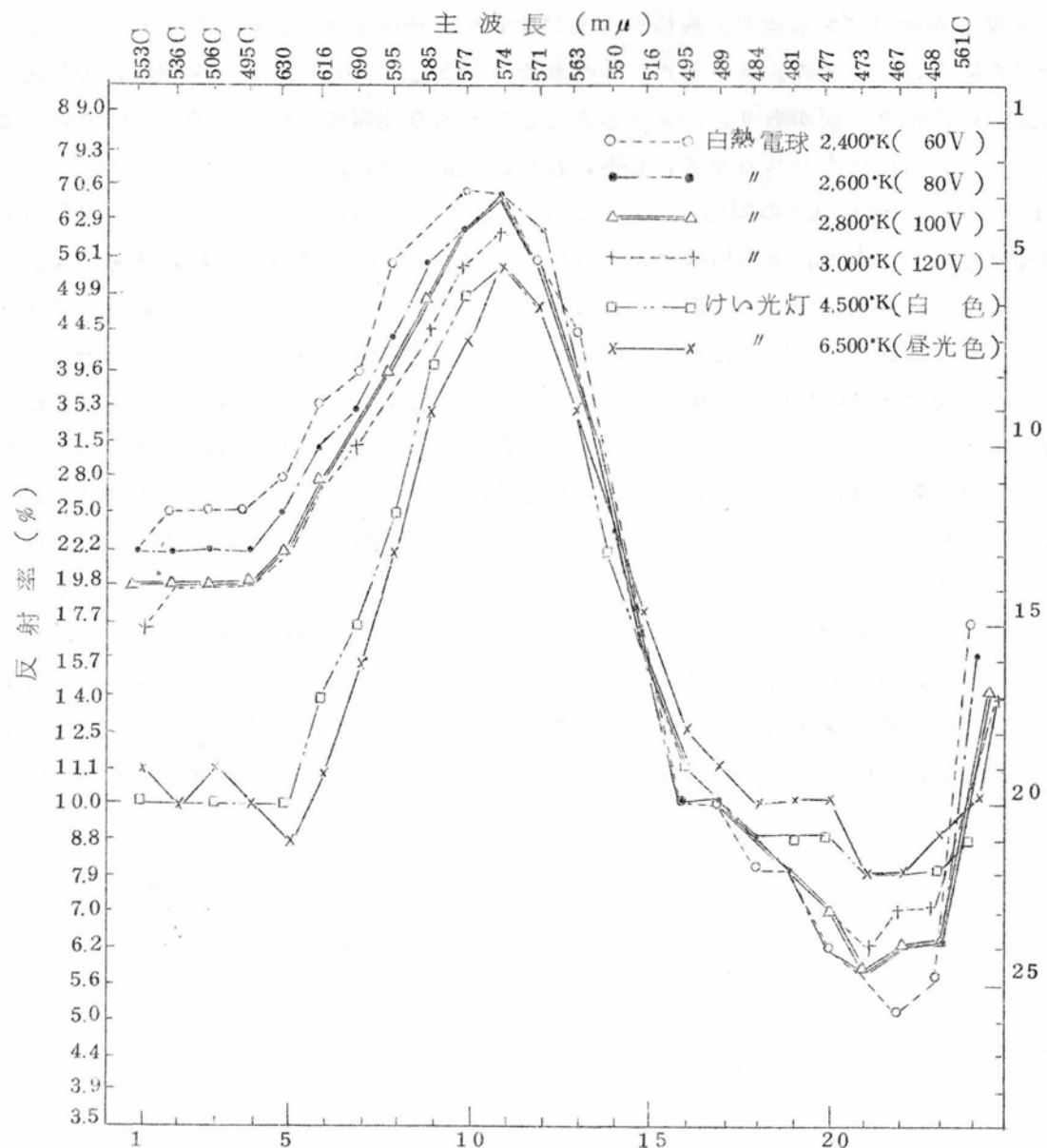


図 1.1.4.4 光源色温度と色感度特性

った帯の比較測定なので、厳密な照明の一樣さにもそれ程注意する必要のないこともわかった。

ビジコンの実用試験にあたっては、赤色感度が低いので赤色（553c～616m μ ）に対する感度限界をきめればよいであろう。

なお、種々のビジコンについて測定値の個人差をも調べたが、たかだか二段階程度以内であった。

1.4 ま と め

本章ではまずビジコンの概要と三硫化アンチモンを光導電面とする1吋ビジコンの試作内容について述べた。概要では従来基礎理論の整理を行ない、試作については管と光導電膜のそれぞれについて、設計と製作上の基本的な問題を論じた。ビジコン製作上のもっとも重要な問題は、相反する傾向にある感度と残像がともにすぐれた光導電膜を如何に作るかということで、複合膜の開発など研究の重点はそこにおかれた。しかし一方ビジコンの実用化、商品化には撮像管固有の面倒な問題があり、開発の重点はむしろこの問題に向けられることになる。この問題とは撮像画面中に表われるキズ、しみ、むら、シューティングなどのいわゆる偽信号

（Spurious signal）の問題である。その原因の多くは製作室内の浮遊塵埃、材料の異物、剝離物などが光導電膜、あるいはその基板であるガラス面板や透明導電膜、メッシュに付着するためであり、作業環境や作業方法の改善、中間検査の徹底など細心の注意が必要であった。以上のような性能面での研究と偽信号に対する製品開発の両面の問題についての一応の解決によって、ビジコン6198の初の国産化商品の製作に成功したのは昭和33年であり、以後はこの技術の上に相次いで新品種を開発してゆくことが可能となり今日の隆盛が築かれたのである。

次にビジコンの特性試験の問題として、測定装置、基本特性の表現と測定法の検討、実験の結果を述べた。撮像管のようにカメラやモニタを含む一つのシステムの中で使用される部品は、そのシステムならびにそのシステムの使われる状態ときりはなして特性を論ずることはできない。ここにビジコン特性試験の難しさが生ずるが、開発当初の新らしい部品として、色々な角度からの実験、検討によってビジコン試験法を確立した。これらの知見、データをもって筆者は日本放送協会のビジコン試験規格、定格の制定に参加し、また引続く日本電子機械工業会の撮像管試験法、撮像管規格の制定に参加協力を行ない些かの寄与をなしたものと考えている。

第 1 章 の 参 考 文 献

- 1) P.K.Weimer, S.V.Forgue, R.R.Goodrich : RCA Rev., 12 (1951) 306~313
" The Vidicon-Photoconductive Camera Tube "
- 2) P.K.Weimer, A.D.Cope : RCA Rev., 12, (1951) 314~334
" Photoconductivity in Amorphous Selenium "
- 3) S.V.Forgue, R.R.Goodrich, A.D.Cope : RCA Rev., 12 (1951) 335~349
" Properties of Some Photoconductors, Principally Antimony Trisulfide "
- 4) B.H.Vine, R.B.Janes, F.S.Veith : RCA Rev., 13 (1952) 3~10
" Performance of the Vidicon. A small developmental Television Camera Tube "
- 5) 武井, 日比 : テレビ誌, 12 (1958) 121~124, " 試作ビジコン "
- 6) 日比, 武井, 茂原, 大西, 西沢 : 日立評論, 41 (1959) 962~968
" 日立ビジョン 6326 について "
- 7) 武井, 日比, 井出 : 電気関係学会関西大会 (昭 34), № 207
" ビジコン 7038 の試作とビームランディング "
- 8) 前田, 西沢, 大西, 羽片 : 日立評論, 43 (1961) 1036~1042
" 日立ビジョン 7038 の特性 "
- 9) H.B.Law : RSI, 19 (1948) 879~881
" A Technique for the Making and Mounting of Fine Mesh Screens "
- 10) 松井, 渡辺 : テレビ誌, 14 (1960) 354~358
" イメージオルシコン用ターゲットメッシュの張力増加法 "
- 11) 西田 : テレビ誌, 16 (1962) 82~90
" ビジコンの動作と設計 "
- 12) 日比, 芦川 : 第 10 回応物関係連合講演会 (昭 38) 19-II-2
" ビジコン光導電ターゲットについて "
- 13) 木下, 藤村, 小島 : テレビ誌, 8 (1954) 73~76
" テレビビジコン用ラインセレクト "
- 14) R.C.Dennison : RCA Rev., 14 (1953) 569~585
" Aperture Compensation for Television Cameras "
- 15) 武井 : テレビ誌, 15 (1961) 583~587
" 撮像管の感度と SN 比 "
- 16) L.H.Bedford : Wireless Eng., 28 (1951) 4~16
" Television Camera Tubes Sensitivity and Other Properties "
- 17) A.Rose : Advanced in Electronics, I (1948) 131~166
" Academic Press Inc., N.Y
" Television Pick up Tubes and the Problem of Vision "

- 18 R.C.Jones : Advanced in Electronics and Electron Physics, XI (1959)
87~183, Academic Press Inc., N.Y
"Quantum Efficiency of Detectors for Visible and Infrared
Radiation"
- 19 吉永 : 信学誌, 40 (1957) 1088~1095
"低速度走査撮像管における Electron Beam Landing"
- 20 B.Meltzer, P.L.Holmes : Brit. App. Phys., 9 (1958) 139~143
"Beam Temperature, dischargelag and target biasing in some
television pick up tubes"
- 21 木内 : 東芝レビュー, 13 (1958) 920~926
"ビジコンの残像"
- 22 堀井, 清水 : テレビ誌, 8 (1954) 144~148
"ビジコンの残像測定装置"
- 23 I.Fisher : Electronics, 25 (1952 -Mar) 140~143
"Television Picture Line Selector"

第2章 ビジョン画質改善の一方法

第2章 ビジコン画質改善の一方法

2.1 まえがき

ビジコンは小形、取扱簡易、長寿命のすぐれた撮像管として、フィルム放送や産業用テレビジョンに広く使用されている。しかし同じテレビ撮像管イメージオルシコンと比較すると、感度、残像、解像力特性のほかに、動作光量領域（フィルムの場合にならって以後ラチチュードと呼ぶ）が狭いという点に使用者の不満があり、これらの改善が強く望まれている。ビジコンのラチチュードの狭さは、平素はあまり気にならないが、明暗差の著るしい被写体を撮像するとき、黒つぶれ現象やビーム不足像となって現われ、画質を著るしく損なう。たとえばニュース・フィルム放送で、明るい空などを背景とした人物の顔がまっ黒になって、目鼻の識別すらできない画面をしばしば見受ける。これはフィルムの画質を再現できないビジコンのラチチュードの狭さを示す典型的な例である。

このラチチュードの狭さは、入射光量を増すと信号電流も一定指数のまま増大するという、ビジコン動作特性にもとづく本質的な問題である。したがってこの解決は感度、残像のように光導電膜の特性改良にまつというわけにはゆかず、別の対策が必要となる。

本章はこのラチチュードの狭さを、ビジコン信号電極電圧の制御によって補ない、画質改善を行なうとする試みに関する筆者の研究を述べたものである。筆者は上記制御方法に対する各種の考察と実験検討から、ビジコンを含めた系の最適設計法を確立し、画質改善効果の大きいことを実証した。またビジコン特性が制御効果に及ぼす影響の理論的、実験的解明は、本研究の特徴的内容であり、従来まったく不明であった制御応答動作の限界をあきらかにしえた。信号電極電圧制御方式では急速な応答制御が不可能であるという上記の結果は、以後放送用フィルムカメラへの適用開発に事実上終止符を打たせ、現在では光量制御フィルタと単なるAGC回路等を併用しているものが大部分となっている。一方産業用テレビカメラでは、それほど応答特性が問題視されないで、現在なお本方式や類似の方式が多く使用され、効果を発揮している。

2.2 信号電極電圧制御による画質改善方式の考察

2.2.1 ビジコン画質改善の一般的考察

ビジコンのラチチュードの狭さは、すでに述べたように入射光量が大きくなると信号電流がビーム不足のため飽和してしまうまで一定指数のまま増大するというビジコンの動作原理にもとづく本質的な問題である。この動作特性は忠実度が高く、一見望ましい性質と考えられるが、一面強い光に対しては信号が過大となり、増巾器の正規動作範囲を越えて著るしく波形歪を受けることになる。前記画像の黒つぶれ現象などは、過大信号が増幅系の途中で飽和またはカットオフされるために生ずる例である。

ビジコンと対比されるイメージオルシコンの場合は、ターゲットの二次電子放出作用によって白部が自動的に圧縮され、広いダイナミック・レンジをもっている。その飽和特性をもつ静的光電変換特性を見ると一見ラチチュードが狭いように思われるが、飽和領域でも二次電子再分布効果によって部分的光量差が信号出力に強調して現われるので、ラチチュードはビジコンに比して2桁も広い。ビジコンにはこの二次電子再分布のような効果がないので、ラチチュードの狭さを基本的に解決することは不可能である。問題はこれを実効的に救う方策であり、それには管の外部要因を動かす方法しかないわけである。

この改善の方法としては、入射してくる光の段階で処理するか、ビジコン以後の回路で処理するか二つになるが、具体的には次の四つの方法が考えられる。

- (a) 適正フィルムの作成など、被写体自体の修正、選択¹⁾
- (b) レンズ絞りや、フィルタの調整など、光学系の制御^{2) 3)}
- (c) AGC回路等による出力信号の補正⁴⁾
- (d) ビジコンの動作条件（主として感度）の制御⁵⁾

これらの方法について従来から種々の研究、発表がなされており、筆者も(d)項について研究^{6) 7) 8)}を行なった。(a)は装置研究の対象外である。(b)は複雑な機械系を必要とする上、速度は余り早くできない。(c)は信号発生後のある程度補助的手段である、などの事項を考慮したものであるが、要は(d)がビジコンの信号発生という基本的現象に関連している点に大きな特色と利点があると考えたからである。

次に(d)の方式について、その内容を考えると、制御するビジコン電極を何にするか、光量の検出信号をどこから取出すかによって、それぞれ次のように分類できる。

- (1) 制御電極 (i) ビジコン信号電極電圧
(ii) ビジコン陰極電圧（信号電極、ヒータを除く全電極）
- (2) 光量検出信号 (i) ビジコン信号電流自体
(ii) 光電池、フォトリランジスタなどの光電流

筆者はこのうち(1)項(i)、(2)項(i)の方式を採りあげた。その理由は次のごとくである。まず(1)項(ii)は単に陰極電圧の制御にとどまらず、信号電極電圧を除く全電極電圧の制御を行なう必要があり、電源などの大幅な改造を行なわねばならない。またこの方法は陰極が信号取出電極でないため応答時間の点で(i)項より一段とすぐれた効果が得られるように考えられやすいが、実際は本論文中に述べるようなビジコンの性質による応答時間の限界のためにそれほど大きな期待はもてない。

次に(2)項(ii)は簡易性の点で大きな利点があるが開ループ系である上、光学系を増設改造する必要があり、既設カメラ特にフィルム放送カメラへの適用には問題があるろう。したがっていずれも(2)項(i)のビジコン自体を検知器とする簡明さには及ばない。

以上述べたように、ビジコンのラチチュード拡大による画質改善を目的とする感度制御方式には数多い方法があり、それぞれ利点、欠点があるが、筆者がここに採りあげたのはビジコンの信号電流を用いる信号電極電圧の自動制御方式である。本方式は原理的に簡明であり既設カメラ、特に光学系にいっさいの変更を加えることなく適用できるうえ、制御範囲、応答時間の二つの特性の総合的效果としては、他のどのような方式よりもすぐれたものと考えられる。

最後に本方式については、S.L.Bendell も筆者と同一時期に同一原理について発表⁸⁾しているが、具体的な詳細についてはなんらの報告もない。

2.2.2 ビジコン信号電極電圧制御方式の原理

ビジコンの信号電極電圧を制御操作して、ラチチュードを拡大する本方式の基本的な考え方は、ビジコンの感度（入射光量に対する信号電流の値）が信号電極電圧の値によって変化するという事実に基づくものである。

一般にビジコンでは信号電流（ I_s ）、信号電極電圧（ E ）、入射光量（ ϕ ）との間に式（1.2.1）のような近似的な関係がある。

$$I_s = k E^{\alpha} \phi^{\gamma} \quad (1.2.1)$$

ここで k 、 α 、 γ はビジコンによって決まる定数で、普通のビジコンでは $\alpha = 1.5 \sim 2$ 、 $\gamma = 0.6 \sim 0.7$ である。この関係は図 1.2.1 のような光電変換特性から明らかである。式（1.2.1）から入射光量（ ϕ ）の変化が信号電流に及ぼす影響を信号電極電圧（ E ）で補償、または軽減することができる。普通のビジコン・カメラで明るい被写体を写すときはレンズ絞りの調整

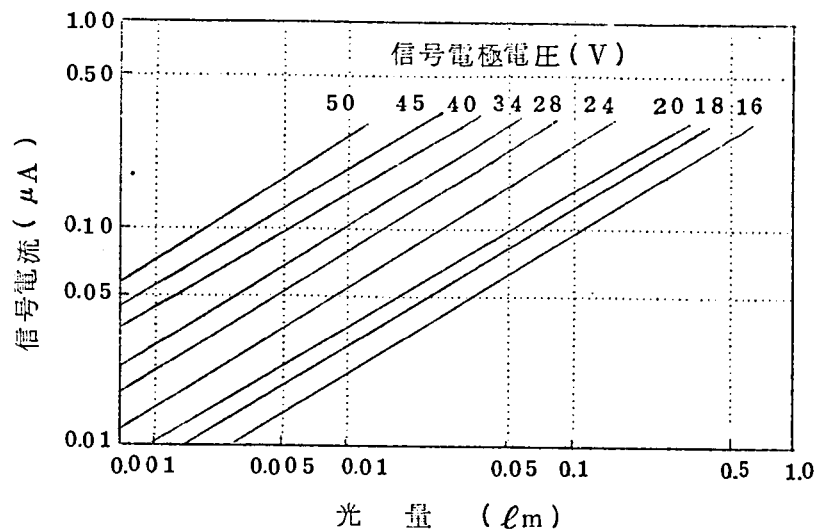


図 1.2.1 ビジコンの光電変換特性

のほかに信号電極電圧を下げ、暗い被写体を写すときに信号電極電圧を上げることは、一般的な調整操作の常識であるが、この操作を自動的に行なわせるのが、本方式の骨子である。

本方式の具体的な実施方法は図 1.2.2 のブロック図で示すようにビジコンの信号電流を増幅したのち、適当レベルで整流平滑して直流に変換し、次いで直流増幅して、信号電極電圧とするものである。

図 1.2.2 を制御的観点から、制御のブロック線図に書改めると、図 1.2.3 のようになる。図で μ は増幅係数（ $V/\mu A$ ）、 E' は信号電極の電源電圧を示している。この図からこの制御系は、光量 ϕ の変化に対し、信号電流 I_s を μ の設定値に応じて一定値に近づけようとする一種の AGC システムを構成していることがわかる。なお本制御系では、信号電流 I_s が適当な時定数をもって整流平均値化されているため、静的に考えると I_s の平均値により、ビジコンの信

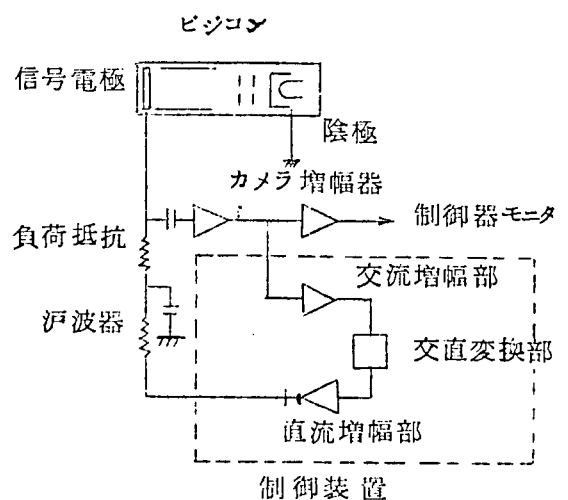


図 1.2.2 ビジコン信号電流を用いた信号電極電圧制御方式の系統図

号電極電圧すなわちビジコンの動作条件が制御されていることになる。

さて上記のような感度制御には、信号出力を基準値と比較して、その偏差が零になるように、すなわち信号出力が一定になるようにフィードバックを働かせるのが一般的手法である。しかしながらテレビジョンカメラの感度制御のような場合に、はたしてこれが最良の方法であるか否かは議論の余地がある。すなわちテレビカメラで景色を撮るとき、明るい場合も、暗い場合もすべて同じ出力信号レベルを得ることが本当に好ましいことであろうか。本制御の本来の目的はビジコンのラチチュードを拡げるということである。

このことは明るい景色も暗い景色も同じ画像が映るということの意味するのではなく、両者が黒つぶれやブルーミングなどを起こさず、ある適当な信号レベルの範囲内におさまることを期待するものである。この範囲内であれば両者間にはむしろ差が認められる方が自然であるといえよう。

筆者は上述の観点から、普通一般的な自動制御の手法とは若干異なった形態の負帰還制御系の採用を試みたものである。

2.2.3 制御効果の検討

前述の原理にもとづくビジコン信号電極電圧制御の効果とその表わし方について検討を行なう。

図 1.2.3 より式 (1.2.2) が得られる。

$$I_s = k (E' - \mu I_s)^\alpha \phi^\tau \quad (1.2.2)$$

信号電極電源電圧 E' の値は動作中心信号電流 I_{s0} 、その時の中心光量 ϕ_0 によってあらかじめ決定されるもので、信号電極には中心電圧 E_0 が加えられることになる。このような動作中心の状態では式 (1.2.2) は式 (1.2.3) のようになる。

$$I_{s0} = k (E' - \mu I_{s0})^\alpha \phi_0^\tau = k E_0^\alpha \phi_0^\tau \quad (1.2.3)$$

式 (1.2.2)、(1.2.3) から式 (1.2.4) が得られる。

$$\frac{I_s}{I_{s0}} = \left(\frac{1 - \mu' I_s}{1 - \mu' I_{s0}} \right)^\alpha \left(\frac{\phi}{\phi_0} \right)^\tau \quad (1.2.4)$$

ここで

$$\mu' = \frac{\mu}{E'} \quad (1.2.5)$$

式 (1.2.4) はこの制御系の制御効果を表わす一般式であり、 $I_{s0} = 0.2 \mu A$ 、 $\alpha = \frac{3}{2}$ 、 $\tau = \frac{2}{3}$ とし、 μ' をパラメータとして計算すると図 1.2.4 が得られる。

図からあきらかなように制御効果は μ' だけで決定され、 μ' を増すと光量変化に対して信号電流は一定の中心値 ($I_{s0} = 0.2 \mu A$) に近づく。また μ' に関する式 (1.2.5) から、 E' が低ければ μ は少なくてすみ、増幅器として大変有利であることが分かる。

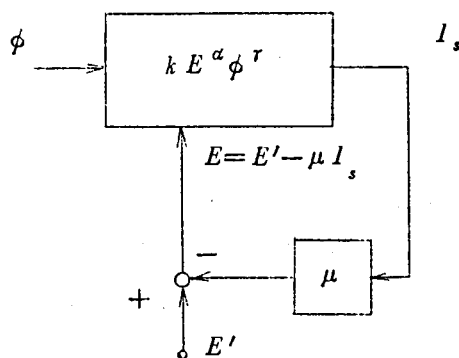


図 1.2.3 制御ブロック線図

以上で制御効果の大意がわかったが、以後の議論を進めるため、制御効果の表わし方を定めておく。この表示法にはラチチュードの拡大効果とか、一定の光量変化に対する信号電流の変化で表わす方法なども考えられるが、何れも測定や取扱い方が簡単でない。実際的な取り扱いにあたっては、測定の容易な信号電極電圧とその変化量で表示するのが、もっとも便利である。

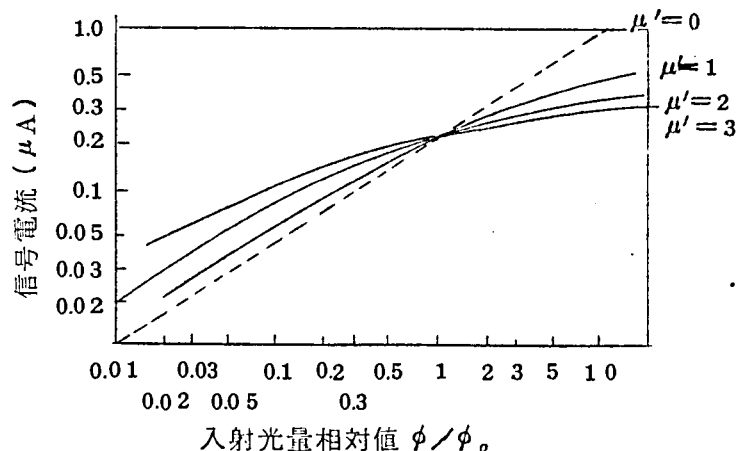


図 1.2.4 制御時の入射光量対信号電流特性

いま、光量 ϕ が中心値 ϕ_0 から n 倍増加または $1/n$ に減少した場合、制御によって信号電極電圧が中心電圧 E_0 から ΔE_- 減少または ΔE_+ 増加し、信号電流が中心値 I_{s0} から I_{s+} または I_{s-} になったとする。こうすると式 (1.2.1) からそれぞれ次式が得られる。

$$I_{s+} = k (E_0 - \Delta E_-)^{\alpha} (n \phi)^r \quad (1.2.6)$$

$$I_{s-} = k (E_0 + \Delta E_+)^{\alpha} \left(\frac{\phi}{n}\right)^r \quad (1.2.7)$$

式 (1.2.6), (1.2.7), (1.2.3) を用いると、

$$\frac{I_{s+}}{I_{s0}} = \left(1 - \frac{\Delta E_-}{E_0}\right)^{\alpha} n^r \quad (1.2.8)$$

$$\frac{I_{s-}}{I_{s0}} = \left(1 + \frac{\Delta E_+}{E_0}\right)^{\alpha} \left(\frac{1}{n}\right)^r \quad (1.2.9)$$

式 (1.2.8) (1.2.9) は電圧変化量 ΔE と信号電流 I_s の関係を示すものである。これからあきらかなように制御効果は $\Delta E/E_0$ で決定され、 E_0 の低い条件で制御するのが有利である。このことは前述のことと一致する。

さて実際にこれらの関係を求めるには、光量変化量 n を決める必要があるが、普通のレンズ絞り値が $2 \sim 16$ であることを利用し、中心値 ϕ_0 を $f=5.6$ に設定し、光量増加の場合は $f=2$ 、光量減少の場合は $f=16$ に相当する光量を与える。すなわち光量変化量を $n=8$ に設定するのが実験上、好都合である。

いま、式 (1.2.8), (1.2.9) において $\alpha=3/2$, $r=2/3$, $n=8$ とし、 $I_{s0}=0.2 \mu A$ において、 I_s と $\Delta E_+/E_0$ または $\Delta E_-/E_0$ との関係を計算すると図 1.2.5 のようになる。なお図 1.2.5 の点線は $I_s=0.2 \mu A$ 以上では $r=0.6$, $I_s=0.1 \mu A$ 以下では $r=0.7$ と仮定した場合について参考までに計算したもので、ビジコンの r 値の変化に対する補正結果を示すものである。

さて図 1.2.5 は ± 8 倍、計 64 倍の光量変化を与えたときの信号電流と電圧変化量を中心信号電極電圧で正規化した一般的な換算図であり、本方式の制御効果の目安を与えるものである。

図 1.2.5 を利用すると、電圧変化量 ΔE と中心信号電極電圧 E_0 を知れば、信号電流 I_s の値を算出でき、逆に E_0 , I_s を与えて必要な ΔE を算出することもできる。たとえば 64 倍の光

量変化に対して I_s の変化範囲を $0.08 \sim 0.3 \mu A$ (この値は従来の実験結果から実用可能な最大制御範囲に近いものと考えられる値である) に押えるためには, $E_0 = 50 V$ の場合, $\Delta E_- \approx 2.5 V$, $\Delta E_+ \approx 1.7 V$ すなわち $E \approx 2.5 \sim 6.7 V$ の範囲で制御すればよいことが算出できる。

2.3 制御効果とビジコン特性の関係

2.3.1 ビジコン特性が制御に及ぼす影響

信号電極電圧を制御して信号電流を常にあるレベル範囲に保持するこの方式は, ビジコンの光及び信号電極電圧に対する性質に依存するから, ビジコンの特性は当然制御効果に影響を与える。本節ではこの問題を取り上げ, 信号電極電圧の値や, 感度, 残像などのビジコン特性と制御効果の関係について調べてみる。

(1) 信号電極電圧の値と制御効果

本方式の制御効果は動作中心の信号電極電圧 E_0 とその電圧変化量 ΔE によって現わされることは前節で述べたが, この際ビジコンの特性と E_0 の関係をあらかじめしておく必要がある。既に第1章で述べたようにビジコンには管それぞれに固有信号電極電圧 E_{00} (暗電流 $0.02 \mu A$ を与える信号電極電圧) があり, この電圧の下で, 信号電流 $0.2 \mu A$ を生ずる入射光量を与えるのが, ビジコンの標準動作条件であった。すなわち E_{00} は制御中心電圧 E_0 に対する一つの目安を与えるものとしてよい。

そこで今, 固有信号電極電圧 E_{00} の異なるいくつかの管を選び, 一定の信号電流を与えるそれぞれの電圧変化量を求めてみた。すなわち各管の E_{00} を動作中心の中心信号電極電圧 E_0 にとり, 基準状態として入射光量をレンズ絞り $f=5.6$ で $I_{s0} = 0.2 \mu A$ になるよう設定しておき, 光量を8倍 ($f=2$) または $1/8$ 倍 ($f=16$) に変化したときの信号電流がそれぞれ $I_{s+} = 0.3 \mu A$, $I_{s-} = 0.08 \mu A$ になるときの電圧変化量 ΔE_- , ΔE_+ を測定してみた。この結果を図1.2.6曲線①に示す。同図の点線②は図1.2.5から得られる計算値を示したものであるが, ΔE_+ に対してはきわめてよい一致を示し, ΔE_- については5V程度理論値より小さいが, 傾向的にはよい一致を示している。光量増加, 電圧降下のときに表われるこの5Vの差は, 光量が大きいと r が若干低くなることに起因するのではないかと考えられるが, 明確なことは現在わかっていない。

次に最初にもどって, 特定のビジコンで E_0 を種々変えた場合の信号変化量と電圧変化量の関係を調べてみたのが図1.2.6曲線③, ④, ⑤である。これは E_{00} の異なる3本のビジコンについて, 前記実験と同じく光量を8倍変えたとき, 信号制御量を $I_{s+} = 0.3 \mu A$, $I_{s-} = 0.08 \mu A$ ($I_{s0} = 0.2 \mu A$) 一定にする ΔE の値を種々の E_0 について求めたものである。図からわかるように各特性曲線はいずれも傾向的にはかなりよい一致を示している。なおこの実験で光量を減

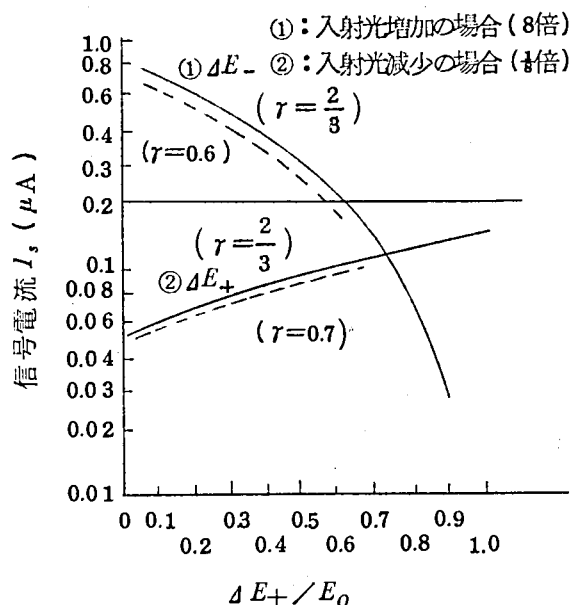


図 1.2.5 電圧変化量と電流の関係

じたときの ΔE_+ についてのデータはかなりバラツキているが、この理由は暗電流が急増する反面、信号電流の増加が少なくなるためと考えられる。

さて以上の実験結果から、信号電流 $0.2 \mu\text{A}$ を与える中心信号電極電圧を E_0 として、どのようなビジコンのどのような信号電極電圧を選んでもほぼ同一制御効果を与えることがわかり、個々のビジコンの特性のバラツキはほとんど影響がないことを確認し得た。このことは、どのビジコンでもほぼ式 (1.2.1) の関係がなりたつことの証明でもある。ただ信号電極電圧が固有信号電極電圧に

比べてある程度以上大きいときは、式 (1.2.1) の基本的関係が成立しなくなるため、光量減少に対して信号を予期どおり補償できない場合があることは注意すべき点である。

なおビジコンの感度については、普通の制御方法の場合、入射光量を調整して動作中心を信号電流 $0.2 \mu\text{A}$ に設定するので、特に問題はないが、光量一定の制限があれば、感度が高いほど E_0 が下げられるので有利となる。

(2) ビジコン残像と制御効果

本方式において応答時間を短くすることは、特にフィルム放送への適用を考える場合にはきわめて重要である。この制御の時間応答は回路系によっても左右されるが、その限界はビジコンの特性によって決定される。時間応答に係るビジコン特性としてはまず残像が考えられるので、これについて調べてみる。

図 1.2.7 は入射光変化に対する信号電流の時間応答（カメラ増幅器初段管プレート信号波形）を示すもので、(a)、(b) はそれぞれ光が増加した場合、減少した場合の一例である。後者がいわゆる残像である。図からわかるように、光変化に対する時間遅れは、個々のビジコンにより多少異なるが、大体 5～6 フィールドすなわち 0.1 秒弱である。

このような光に対するビジコンの信号の遅れは制御応答時間を制限する一つの因子である。

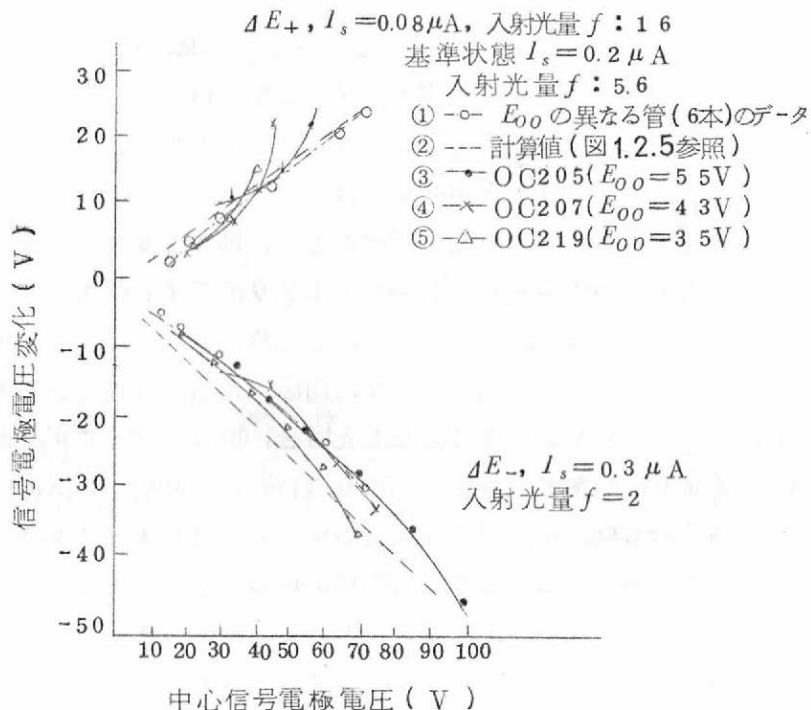
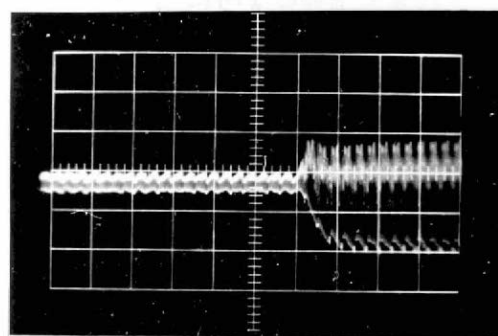
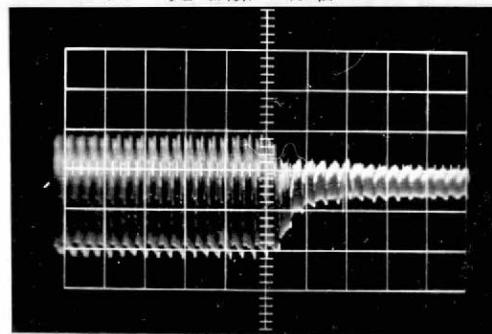


図 1.2.6 信号一定時のビジコン電圧制御量特性



(a) 光増加の場合



(b) 光減少の場合
(時間軸 0.05 s/cm)

図 1.2.7 入射光に対するビジコン信号電流の応答特性

(3) 信号電極電圧変化に対するビジコンの応答特性と制御効果
 制御応答時間を左右する因子として前項の光に対するもののほかに、信号電極電圧変化に対するビジコン信号の応答特性を考える必要がある。これはビジコン特性としては新しい概念である。この特性を調べるため、図 1.2.8 のような測定回路を用いて実験した結果を図 1.2.9 に示す。図 1.2.9 は入射光を一定とし、信号電極電圧を急激に変化させたときの信号変化の模様を求めたもので、同図(a) は信号電極電圧を 40 V から 70 V に急激に増加した場合、(b) は同じく 70 V から 40 V に急激に減少させた場合の信号電流波形である。図から信号電極電圧に対する信号の応答時間は 0.1 ~ 0.2 秒に及ぶことがわかる。また信号電極電圧の増加と減少時において、

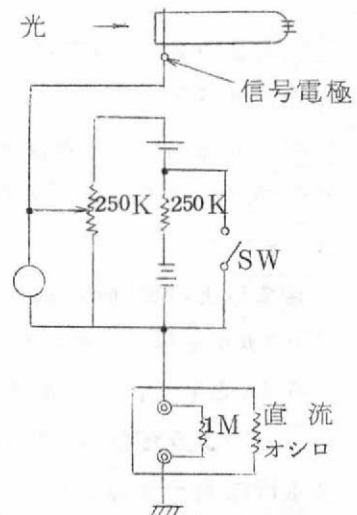
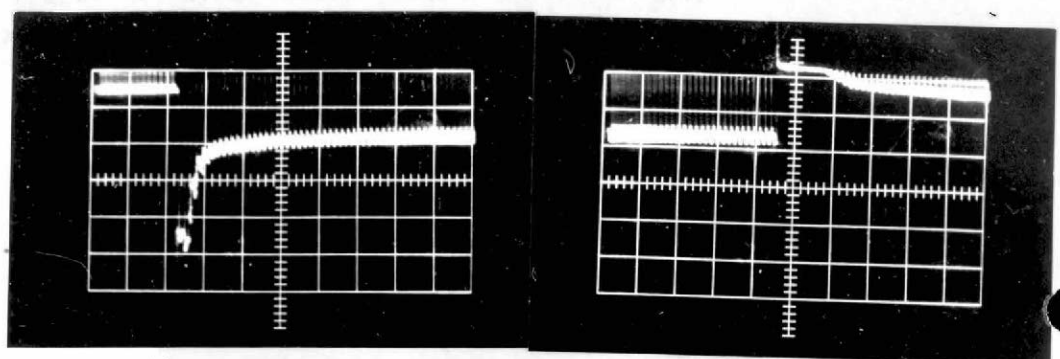


図 1.2.8 測定回路

信号の応答にかなり相違が見られる。なお図 1.2.9, 特に(b) の異常波形が光導電膜の特性に基づくことを確認する意味で、ネサ膜だけをつけた実験管に対して、信号電極電圧を切り換えたときの結果を図 1.2.10 (a), (b) に示した。この場合には図 1.2.9 に見られるような過大信号や信号消滅は認められない。なお同じ条件のもとでビジコンと実験管では電圧変化の方向が逆であるが、これはネサ膜実験管では高い信号電極電圧で $\delta > 1$ となり、信号電流の方向がビジコンと逆になるためである。

さて上述のように信号電極電圧変化による信号の遅れが 0.1 ~ 0.2 秒にも達することは、前項の光に対する応答以上に、本制御法の時間応答にきわめて重大な影響を及ぼすことはあきらかである。また信号電極電圧の立ち上がり立ち下がり信号波形が著しく異なる点も制御動作に異なった影響を与える。事実この特性は本制御法の制御効果、動作特性を決定する最大の因子

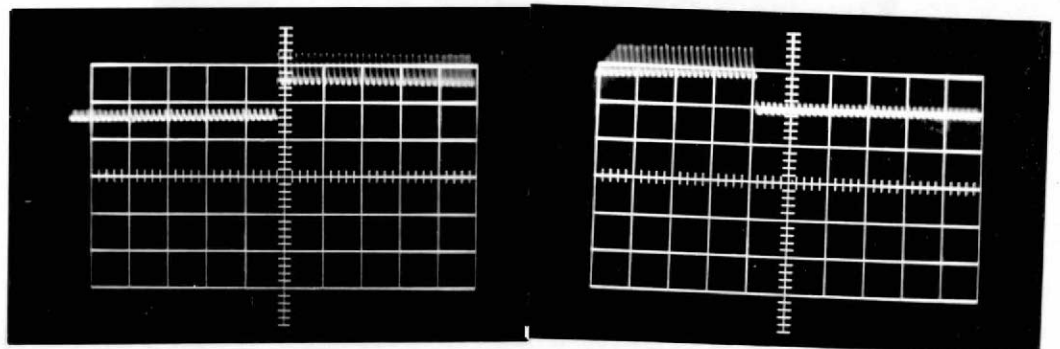


(a) $E: 40\text{V} \rightarrow 70\text{V}$

(b) $E: 70\text{V} \rightarrow 40\text{V}$

(電圧目盛: 0.2 V/cm, 時間目盛: 0.1 s/cm)

図 1.2.9 信号電極電圧変化に対するビジコン信号の応答



(a) $E: 40\text{V} \rightarrow 70\text{V}$

(b) $E: 70\text{V} \rightarrow 40\text{V}$

(電圧目盛: 0.2 V/cm, 時間目盛: 0.1 s/cm)

図 1.2.10 信号電極電圧変動に対する実験管の信号応答

として今後しばしば取り上げられることになる。

なおこの信号電極電圧変化に対するビジコンの応答時間の問題は、残像の問題をも合わせて、単に信号電極電圧制御の方式だけでなく、陰極負帰還の場合にもあてはまるものであることを注意しておかねばならない。応答時間に差がなければ陰極電圧制御の価値は一段と小さくなり、信号電極電圧制御方式のほうがはるかに簡単であると考えられる。

2.3.2 信号電極電圧変化に対するビジコン応答特性の理論的検討

前節で制御系の時間応答を左右する因子として信号電極電圧の変化によるビジコンの信号応答に遅れがあることを指摘した。この問題は従来取り上げられたことがないので、以下に詳細な検討を行なう。まず信号電極電圧の変化により図 1.2.9 のような信号消滅や過大信号の発生が生ずる原因を考えると、これはビジコンの光導電膜が絶縁物に近い高抵抗層であることから、次のように説明できる。

ビジコンの光導電膜は片側は導電性ネサ膜により信号電極電圧 E が与えられ、一方の側は電子ビーム走査によりほぼ陰極電位 (0 V) が与えられている。いま E が急激に ΔE だけ減少したとすると、光導電膜のビーム側の電位は一瞬 $-\Delta E$ になり、ビームのランディングが行われなくなる。したがってこの場合、信号は発生しない。この光導電膜に充電された電荷は膜の内部抵抗を通して放電するため、やがて膜のビーム側表面電位は陰極電位 0 V 近くにもどる。この状態になって初めて走査ビームのランディングが可能となり、信号がふたたび発生することになる。この光導電膜の表面電位が $-\Delta E$ から 0 V に回復する時間が信号消滅時間である。一方信号電極電圧 E が増加する場合、膜の表面電位は一瞬増加し、信号はそれに応じて増加するが、ビーム・ランディングは常に行なわれており、信号の減滅はないし、表面電位の回復もビームによる放電のため、電圧降下のときより一般に早いものと考えられる。

次に信号電極電圧の変化の程度と応答時間との関係について解析を行ない考察を進めることにする。なお信号電極電圧変化に対する応答で制御に特に重要な影響を与えるのは、後述のように信号消滅を伴う電圧降下の場合であり、電圧増加の場合は前者ほどの影響がないので、この場合についてのみ解析を行なう。

さて、いまビジコンの光導電膜を簡単な CR 並列回路で等価的に表わすと、信号電極電圧の変化（この場合減少）の機構は図 1.2.11 の電圧切換回路で表わすことができる。この図から前述の現象解釈に基づいて、信号消滅時間、すなわち応答時間 t_d を求めると式 (1.2.10)、(1.2.11) が得られる。

$$E_2 = E_1 e^{-\frac{t}{\tau}} \quad (1.2.10)$$

$$\therefore t_d = \tau \ln \left(\frac{E_1}{E_2} \right) = \tau \ln \left(\frac{E_1}{E_1 - \Delta E} \right) \quad (1.2.11)$$

ここで、 E_1 : 最初の信号電極電圧

E_2 : 変化後の信号電極電圧

ΔE : 信号電極電圧変化量

ビジコン光導電膜

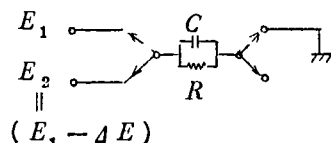


図 1.2.11 ビジコン光導電膜の等価回路

τ : ビジコン光導電膜の時定数

t_d : 信号電極電圧変動に対する応答時間 (信号消滅時間)

上式から信号消滅時間は、信号電極電圧の変化の割合と光導電膜の時定数に依存することが分かる。この信号消滅時間が各種条件でどう変化するかを調べるには、時定数 τ の性質を知る必要があるので、以下簡単な考察を行なう。

ビジコン光導電膜の時定数 τ は、西田¹⁰⁾によれば感度の点からフレーム時間 T の5~10倍あることが望ましいとされており、実際のビジコンも上記条件を満足していると考えられるので $\tau \gg T$ であると仮定しておく。

一方、 τ は入射光量によってその値が変化するので、その様子を知る必要がある。これにはビジコン信号発生の基本式(1.1.1)において、上述の $\tau \gg T$ の条件を入れ、かつ暗電流を無視した近似を行なうと、信号電流は時定数に反比例するという大略の関係を導くことができる。

$$I_s \simeq \frac{CT}{dT} \left(1 - e^{-\frac{T}{\tau}} \right) \simeq \frac{CE}{dT} \cdot \frac{T}{\tau} \quad (1.2.12)$$

$$I_s \propto \frac{E}{\tau} \quad (T = \text{一定}) \quad (1.2.13)$$

$$\frac{I_s}{I_{s0}} = \frac{\tau_0}{\tau} \quad (E = \text{一定}) \quad (1.2.14)$$

ここで τ, τ_0 : 任意および基準の入射光に対する時定数

I_s, I_{s0} : 一定の信号電極電圧の下で上記任意及び基準の入射光量を与えた時の
信号電流

式(1.2.14)を信号消滅時間 t_d を与える式(1.2.11)に代入すれば次式を得る。

$$t_d = \tau_0 \left(\frac{I_{s0}}{I_s} \right) \ln \left(\frac{E_1}{E_2} \right) \quad (1.2.15)$$

この式から、基準状態での τ_0 が与えられれば、任意の入射光量に対する t_d の値を、対応する信号電極電圧 E と信号電流値 I_s からほぼ推定することができる。

また任意の入射光量に対し、信号電極電圧 E を変えて基準条件の時と同一の信号電流を得ることは実際よく行なわれる操作であるが、この場合には式(1.2.13)から次式の関係が得られる。

$$\frac{E}{\tau} = \frac{E_0}{\tau_0} \quad \therefore \tau = \tau_0 \left(\frac{E}{E_0} \right) \quad (1.2.16)$$

この関係を式(1.2.11)に代入すれば信号消滅時間 t_d は、 $E=E_1$ と設定して次のようになる。

$$t_d = \tau_0 \left(\frac{E_1}{E_2} \right) \ln \left(\frac{E_1}{E_2} \right) \quad (1.2.17)$$

これは信号電流一定の条件で E_1 を設定した時の信号消滅時間を与える式である。

以上、信号消滅に関係するいくつかの近似的関係式が得られたので、これに基づいて各種条件下の信号消滅時間 t を算出してみる。

なお、以下の計算では、基準条件として、 $E_0 = 5.0 \text{ V}$ の時、信号電流 $0.2 \mu\text{A}$ を与える光量を与え、この時定数を $\tau_0 = 5 \times \frac{1}{30} \text{ s}$ と仮定した。

また、 E_1 、 E_2 のえらび方としては、次式のように E_0 を中心に電圧変化量 ΔE を正負等量に配分するようにした。

$$E_1 = E_0 + \frac{1}{2} \Delta E, E_2 = E_0 - \frac{1}{2} \Delta E,$$

$$E_0 = \frac{E_1 + E_2}{2} \quad (1.2.18)$$

(i) 光量一定、 E_0 一定で、 ΔE を変化させる場合

式 (1.2.11) において $E_0 = 5.0 \text{ V}$ 、 $\Delta E = 1.0 \sim 4.0 \text{ V}$ として計算すると、図 1.2.12 の実線①のようになる。なお図では便宜上、 $E_1 = E_0 + \frac{1}{2} \Delta E = 5.5 \sim 7.0 \text{ V}$ を用いて表示している。

(ii) 光量一定、 ΔE 一定で、 E_0 を変化させる場合

式 (1.2.11) において $\Delta E = 3.0 \text{ V}$ 、 $E_0 = 3.0 \sim 7.0 \text{ V}$ すなわち $E_1 = 4.5 \sim 8.5 \text{ V}$ とした場合には図 1.2.12 の実線②のようになる。

(iii) 信号電流一定、 ΔE 一定で E_0 を変化させる場合 (入射光量も変化させる)

式 (1.2.17) において、 $\Delta E = 3.0 \text{ V}$ 、 $E_0 = 5.0 \text{ V}$ 一定、 $E_1 = 4.5 \sim 8.5 \text{ V}$ とおいて計算すると、図 1.2.12 の実線③が得られる。

(iv) E_0 一定、 ΔE が一定で、光量にしたがって信号電流を変える場合

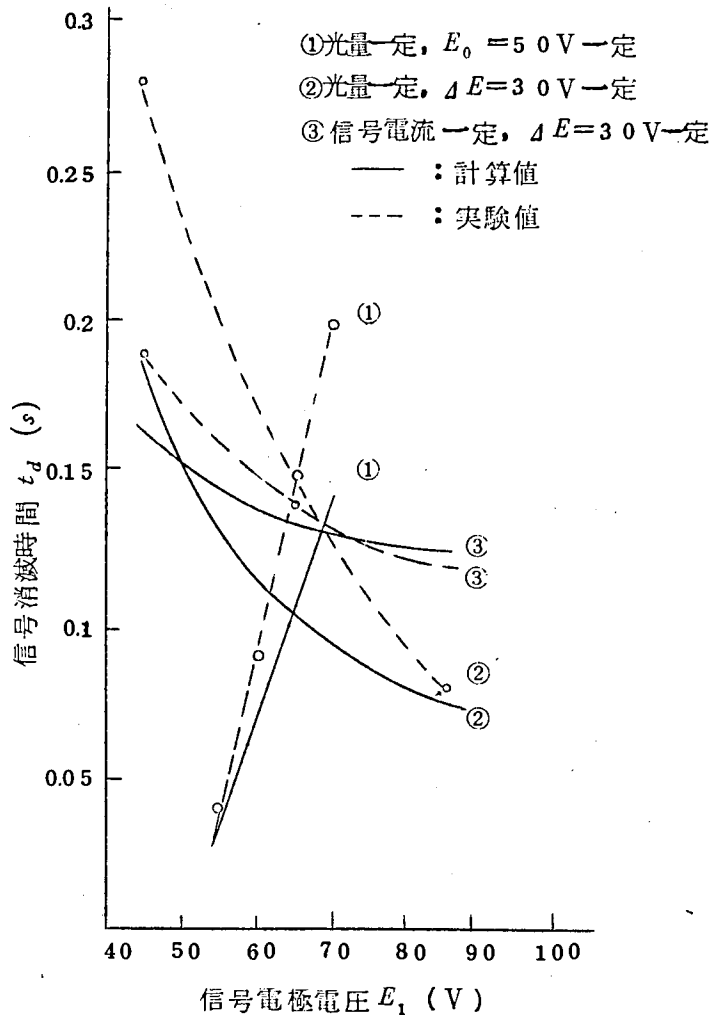


図 1.2.12 信号電極電圧変化 (減少) と信号消滅時間

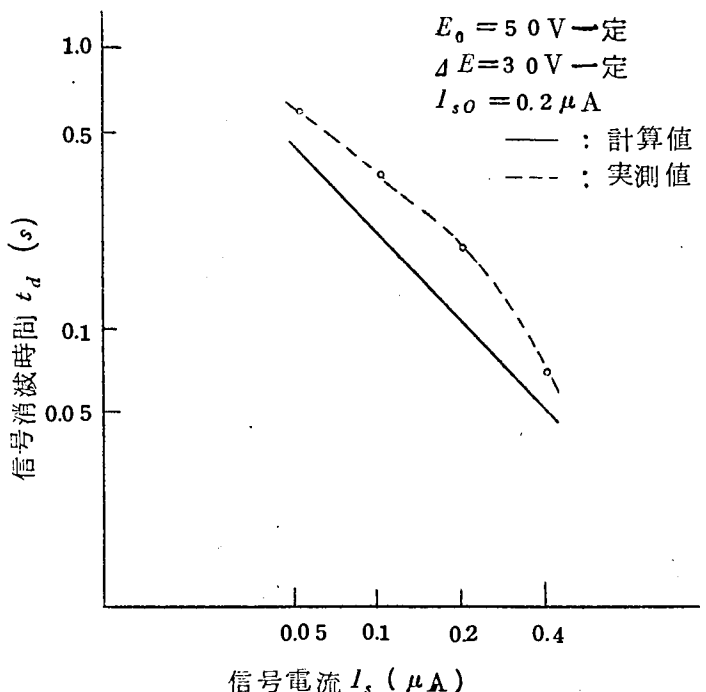


図 1.2.13 信号電極電圧変化 (減少) と信号消滅時間

式(1.2.15)において $E_0 = 50\text{V}$, $\Delta E = 30\text{V}$ 一定で, $I_{s0} = 0.2\mu\text{A}$ に対し, $I_s = 0.05 \sim 0.4\mu\text{A}$ の範囲で計算すると図1.2.13が得られる。この場合, $E_1 = 65\text{V}$, $E_2 = 35\text{V}$ となるが, $E_1 = 50\text{V}$, $E_2 = 20\text{V}$ としても, t は単純に比例変化するに止まり, 曲線の形は変わらない。

以上, 4条件に対して信号電極電圧減少時の応答時間を計算した結果をそれぞれに図1.2.12および図1.2.13の実線で示したが, これらの条件に対応する実験結果の一例を各図点線で併記しておいた。この実験データの細部については次節で述べる。

さて, この計算例および実験値を比較してみると, 多くの仮定にもかかわらず, 傾向的にはかなりよい一致を示しているといえよう。実際にはビームランディング, 光導電膜の動作機構など, 数多い問題を考えねばならないが, 制御系の支配因子としての考察はこの程度で止めることにする。

2.3.3 信号電極電圧変化に対するビジコン応答特性の実験結果と考察

(1) 実験結果

前項で論じた信号電極電圧を急減に減少させた時に生ずる信号消滅現象に関する実験結果について述べ, 理論値との対比を行なってみる。なお実験には既述の図1.2.8の回路を用いた。

(i) 光量一定, E_0 一定で, ΔE を変化させる場合

$E_0 = 50\text{V}$ 一定とし, $\Delta E = 5 \sim 40\text{V}$ 急激に減少させたときのビジコン信号電流波形を図1.2.14に示す。この図から得られる ΔE と t_d の関係は, 図1.2.15のようになる。またこの関係を $E_1 = E_0 + \frac{1}{2} \Delta E$ について書改めると前述の図1.2.12の点線①になる。これらの図から電圧変化量 ΔE が大きいと t_d がそれに比例して大きくなることがあきらかになった。

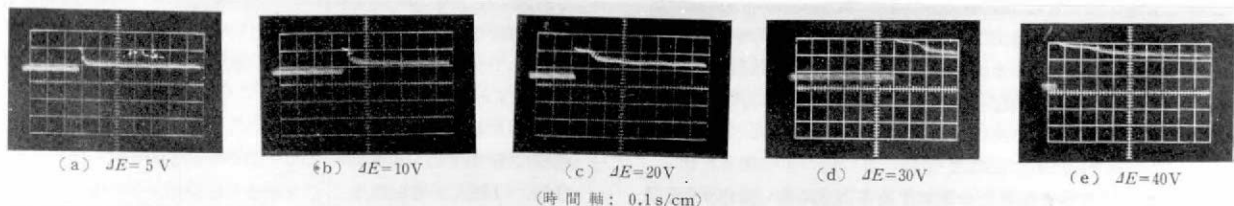


図1.2.14 信号電極電圧急減時の信号応答波形

(ii) 光量一定, ΔE 一定で, E_0 を変化させた場合

$\Delta E = 30\text{V}$ 一定とし, $E_0 = 70, 50, 30\text{V}$ ($E_1 = 85, 65, 45\text{V}$) の3例について求めた信号電流波形を図1.2.16に示す。これからプロットした t_d と E_1 の関係は, 既述の図1.2.12の点線②に示した。このデータは信号電極電圧の低い所で大きな電圧変化を与えると t_d は急増することを示している。

(iii) 信号電流一定, ΔE 一定で, E_0 を変化させる場合

信号電流 $I_s = 0.2\mu\text{A}$, $\Delta E = 30\text{V}$ 一定とし, (ii)と同じ3例について調べた結果を図1.2.17に示す。(ii)の場合との差はそれぞれの電圧に対して入射光量が異なっているこ

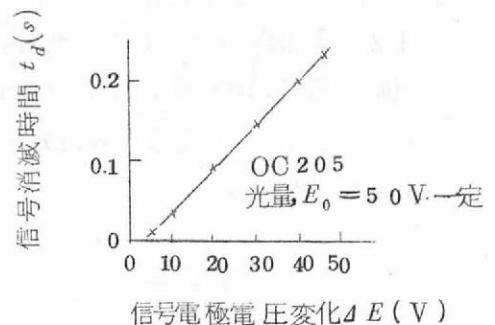


図1.2.15 信号電極電圧変動と信号消滅時間

(注) $\Delta E = 30\text{V}$ とは $E_1 = 65\text{V}$ から $E_2 = 35\text{V}$ に急減することを示す。

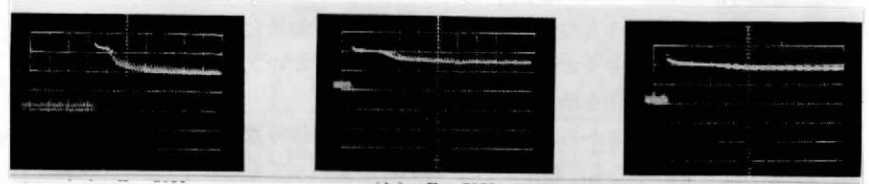
とであるが、この場合は E_0 あるいは E_1 の変化による t_d の変化は比較的少ない。

データ曲線は既述図 1.2.12 の点線③に示してある。

(iv) E_0 一定, ΔE 一定で, 信号電流 I_s が異なる場合

$E_0 = 5.0 \text{ V}$ を与え, I_s が $0.05 \sim 0.4 \mu\text{A}$ になるよう入射光量を設定しておき, $\Delta E = 3.0 \text{ V}$ の電圧減少を与える。この時の信号電流波形のオシログラムを図 1.2.18 に示す。この図から I_s と t_d の関係をプロットすると,

図 1.2.13 の点線のごとくなる。 I_s が多いほど (入射光量が多いほど) t_d は短い。



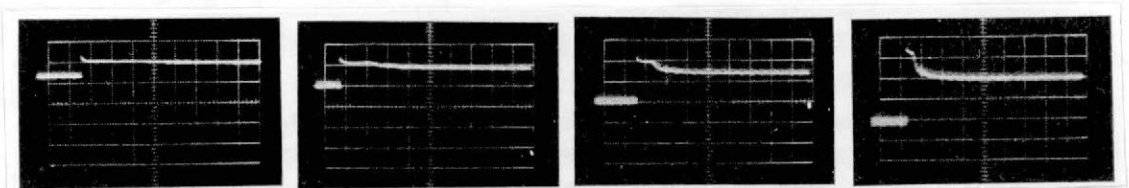
(a) $E_0 = 7.0 \text{ V}$ ($E_1 = 8.5 \text{ V}$) (b) $E_0 = 5.0 \text{ V}$ ($E_1 = 6.5 \text{ V}$) (c) $E_0 = 3.0 \text{ V}$ ($E_1 = 4.5 \text{ V}$)
(時間軸: 0.1 s/cm)

図 1.2.16 光量一定, 電圧変化量一定時の中心信号電極電圧と信号消滅時間の関係 ($\Delta E = 3.0 \text{ V}$ 一定)



(a) $E_0 = 7.0 \text{ V}$ ($E_1 = 8.5 \text{ V}$) (b) $E_0 = 5.0 \text{ V}$ ($E_1 = 6.5 \text{ V}$) (c) $E_0 = 3.0 \text{ V}$ ($E_1 = 4.5 \text{ V}$)
(時間軸: 0.1 s/cm)

図 1.2.17 信号電流一定, 電圧変化量一定時の中心信号電極電圧と信号消滅時間の関係 ($\Delta E = 3.0 \text{ V}$ 一定)



(a) $I_s = 0.05 \mu\text{A}$ (b) $I_s = 0.1 \mu\text{A}$ (c) $I_s = 0.2 \mu\text{A}$ (d) $I_s = 0.4 \mu\text{A}$
(時間軸: 0.2 s/cm)

図 1.2.18 信号電極電圧減少による信号消滅時間と信号電流の関係

以上の(i)~(iv)の各条件に対する各実験データは, 一本のビジコン (DC-205, $E_{00} = 5.0 \text{ V}$) に対するものであるが, 他のビジコンでもほぼ同様なデータが得られる。

参考のため, (ii), (iii)の条件に対する3本のビジコンの測定データをまとめて示したのが図 1.2.19である。時定数も異なることでもあり, 絶対値は議論できないが, 傾向的には同じ性質が得られている。

(2) 信号電極電圧変化に対するビジコン応答特性と制御効果の考察

信号電極電圧変化に対して信号消滅時間で表わされるビジコンの信号応答特性の遅れがあり, これが制御の時間応答に一つの限界を与えることはすでに述べた。ここでは前節までに述べた

各種データから、さらに詳しく制御への影響を考察してみる。

まず実験(i)，図 1.2.1 5 から応答時間は電圧変化量 ΔE の増加にほぼ比例して増大していることがわかるが、この特性は制御系動作点の設定に大きな目安を与える。すなわち、制御効果を増すため、電圧変化量を大きくすると応答時間は長くなるという制御効果と応答時間の相反性を示す。

次に実験(ii)のデータから、信号電流一定なら信号電極電圧 E_0 がかなり変わっても、したがって $\Delta E/E_0$ が変わっても応答時間はあまり変化がないことが示されるが、これは注目すべき事実である。

すなわち制御効果は 2.2.3 項で述べたように $\Delta E/E_0$ で決定されるが、応答時間は $\Delta E/E_0$ にあまり大きく影響されないということであるから E_0 を小さくしたほうが制御効果の大きくなるのに比して時間応答は長くなり有利であるという動作の一つの指針が得られる。

また実験(iv)から信号電流の大きい、すなわち光量の十分与えられているほうが応答時間が小さくできるということも使用にあたって考慮すべき事項である。

以上信号電極電圧急減時のビジコンの応答特性と制御効果への影響について述べたが、最後に、信号電極電圧の立ち上がりとしち下がりに対する信号の相異が制御動作に及ぼす影響について考える。すでに 2.3 節で述べたように制御時光が減少して信号電極電圧が立ち上がる場合は、信号の一時的増加はあるが、制御動作にはほとんど影響を与えない。一方、電圧立ち下がりときは信号消滅のため場合によっては著しい過度振動や発振を起し、系を不安定にする。したがってある一つの応答時間を与えると、電圧増加のときは可能な電圧変化量はかなり大きくとれるが、電圧降下のときはあまり大きくとれない。普通の制御動作では基準状態の正負両方に同程度の電圧変化量をとる必要があるから、この場合動作の限界は電圧立ち下がり時の応答特性で決定される。

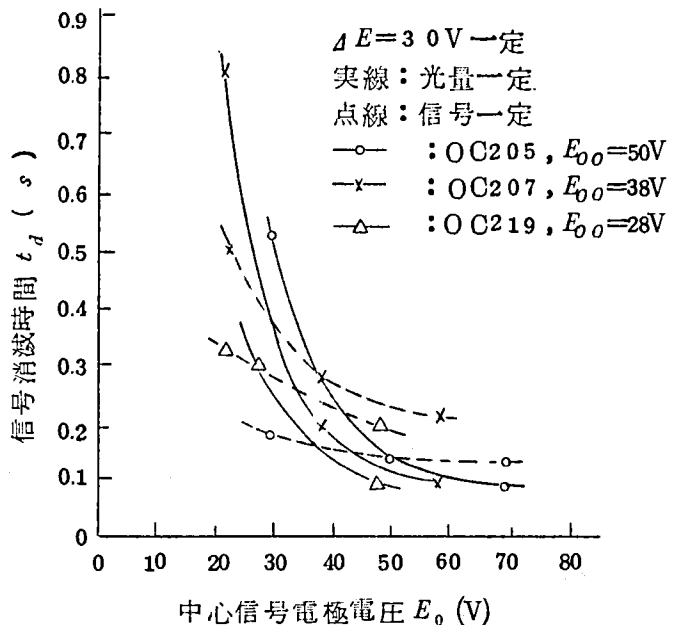


図 1.2.1 9 一定信号電極電圧減少時の信号消滅時間と中心信号電極電圧の関係

2.4 制御装置と制御効果

2.4.1 制御装置の設計と試作

(i) 制御回路の問題と設計法

(a) 制御系の安定性

前章では制御動作に影響するビジコンの性質について述べたが、ここでは制御動作を支配する回路的問題および制御系回路の設計法について述べる。

本制御系の実際の動作限界を表わすには図 1.2.20 のような特性曲線を用いるのが便利である。図の曲線はビジコンを含めた全体の制御効果、応答時間および安定度を示すもので、曲線下部が安定動作領域となる。さてこの特性は最終的にはビジコンの特性で決定されるが、回路的には制御回路の主として周波数特性によって左右される。すなわち時間応答を早くするためには、ろ波器を含む直流増幅器の周波数特性を高いほうに伸ばす必要があるが、一方、制御電圧の変動が交流増幅器に伝達されないようにしないと発振を生じ系の安定度をそこなう。この問題に関して、この制御系で生ずる発振の原因についてまず考えてみる。

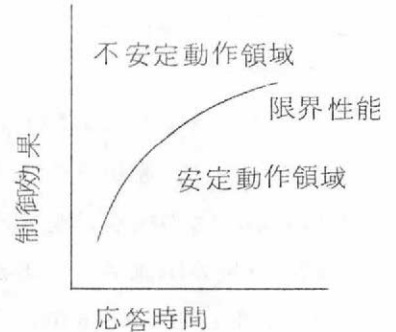


図 1.2.20 制御系の動作特性

ビジコンの信号電流はたかだか $0.2 \sim 0.3 \mu A$ であり、 $50 k\Omega$ の負荷に対し $10 mV$ 程度の

信号電圧を発する。この信号がカメラ増幅器を通して適当に増幅されるが、信号電極電圧制御を行なう場合は、信号電極電圧の変動が数十 V に達し、これがカメラ増幅器に伝達されると映像信号は完全に低周波の制御電圧変

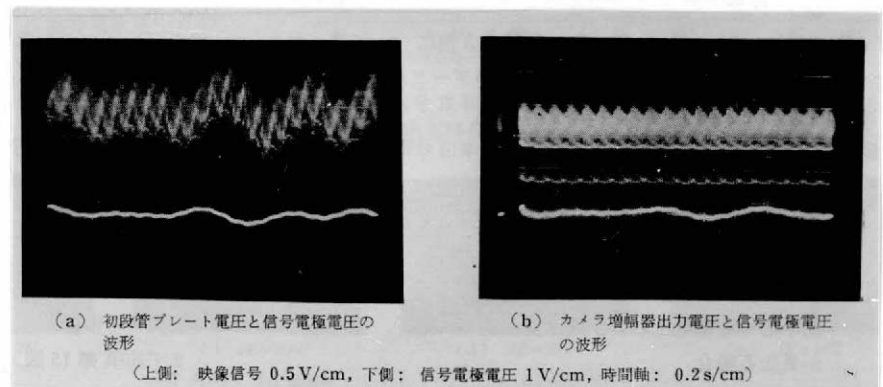


図 1.2.21 発振時の映像信号波形と信号電極電圧波形

動によって変調される。この変調が大きいと信号はカメラ増幅器内で飽和またはカットオフ領域にはいり、正常な信号伝達が妨げられる。また増幅器の途中で信号が急激、かつ不規則に変化するため、発振または著しい過渡振動を引き起こす。この模様を図 1.2.21 に示す。

図 1.2.21(a) は発振時の信号電極電圧の変化とカメラ増幅器初段管プレート電圧変化を示す一例である。図から映像信号が制御電圧の低周波変動により著しく変調されていることがわかるが、極端な場合には信号は完全にうずもれてしまう。

次に同図(b) は(a) の場合のカメラ増幅器出力の波形を信号電極電圧変化とともに示したものである。カメラ増幅器の途中で低周波成分はしだいにカットされるが、これによって信号に与えられたひずみはそのまま残り、完全な発振波形となっていることがわかる。

以上述べた発振の原因から、系の安定度を増すためには、信号電極電圧の変動がカメラ増幅器内の正常な信号伝達を妨げないように増幅系の設計を適当に行なうことが必要であることが明確になった。

(b) 制御回路の設計法

本制御回路の具体的な設計には、制御効果(電圧変化量)、時間応答、安定度の互いに相反する要求をどのように配分すべきかが問題となる。われわれは前節で述べた系の安定度に対する検討結果に基づいて次のような制御系回路の設計を行なえばよいとの結論を得た。

(i) 交流増幅系の設計

映像増幅器を含めて制御系交流増幅部の周波数特性を下限カットオフ周波数 f_{ca} が適用テレビ系のフィールド周波数 f_f の1～2倍になるよう設計する。

この理由は、制御系の時間応答を早めるには交流増幅器の f_{ca} をできるだけ高くするのが望ましいが、この場合、映像信号の低周波成分の除去による画質の劣化および低周波信号に対する制御効果の困難さの2点が問題となる。実際はテレビ系画質の点から f_{ca} はフィールド周波数 f_f すなわち50～60%程度、特に制御に重点をおいてもその倍の周波数100%程度が許容限界と考えられるからである。

(ii) 所要制御効果の設定および許容伝達量

電圧変化量、すなわち信号電極電圧の変化量 ΔE を与え、下記係数 m を決定する。

$$m = \frac{\Delta E}{\text{交流増幅器許容最大入力電圧 } (V_{sm}) - \text{ビジコン信号電圧 } (V_s)} \quad (1.2.19)$$

ここで V_{sm} は映像増幅器を含めて系の交流増幅器内部で飽和、カットオフをきたさずに伝達できる許容最大入力信号電圧であり、普通のビジコンカメラでは20mV程度である。 V_s は基準のビジコン信号電圧であり、信号電流が $0.2\mu A$ 、負荷抵抗 $50k\Omega$ として10mVである。したがって普通のカメラ系では次式のように表わしてよい。

$$m = 100 \Delta E \quad (1.2.20)$$

この m の意味は、信号電極電圧変化が交流増幅系に伝達されても発振を起こさず、安定性を失わないために必要な減衰の割合を示すもので、次の直流増幅器の特性を決定するために必要な事項である。

(iii) 直流増幅の設計

出力段ろ波器を含む直流増幅器の正規化周波数特性（平坦部分を基準値にとる）を m 倍したレベルに表示した場合、その下降特性がもとの基準レベルに降下する点の周波数を、前記交流増幅器の f_{ca} と一致せしめるように、直流増幅器を設計する。この関係をわかりやすく表示すると図1.2.22のようになる。図から容易に推察できるように、 m の値を大きく、すなわち電圧変化量を大きくしたい場合には直流増幅器の上限カットオフ周波数 f_{cd} を下げる必要が生ずる。このことは応答がおそくなることを意味する。またこのとき、 f_{cd} を下げないと信号電極電圧変化の交流増幅器に伝達される低周波成分が交流増幅器の許容最大入力を越えるから系は不安定となる。

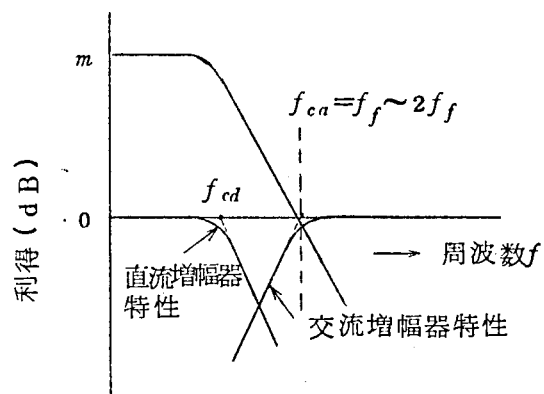


図1.2.22 制御系増幅器周波数特性

以上の3項が系の安定度を保ち、与えられた制御量に対し最大の応答速度をうるための基本的設計要領である。

(c) 制御装置の試作

ビジコン信号電極電圧制御方式に使用する制御装置として、筆者は真空管式装置（図1.2.23）と小形化を目的としたトランジスタ式装置（図1.2.24）の両者を試作した。この両者

の回路結線図をそれぞれ図 1.2.2 5, 1.2.2 6 に示す。なお制御系はカメラ増幅器とこれら制御装置の両者から構成することとした。ここで制御装置のトランジスタ式と真空管式の両者の得失を述べると、トランジスタ式のものゝは小形軽量のほか、電源が簡単となり、電池の使用により装置全体をアースより浮かすことも可能となる利点がある。しかし数十Vの電圧出力を取り出すこの制御装置の目的には真空管式より不利であることが問題であった。

さて上記制御装置の回路装置の回路特性の詳細は省略するが、最大電圧変化量の設計値は0.3秒の応答時間に対し、 $\Delta E=50V$ に設定してある。しかし実際には $\Delta E=30V$ 程度の制御が限界であり、これ以上の電圧変動では発振を生ずる。この理由は前章で述べたように信号電極電圧減少の場合には回路条件よりもビジコンの特性に基づくためと考えられる。

なお光量が減少して信号電極電圧が増加する場合だけについていえば、上記条件で利得を増し、約 $\Delta E=45V$ までは安定に制御できる。

2.4.2 制御特性

(1) 制御効果（電圧変化量）、時間応答および安定度の関係

前述の試作制御装置を用いた実際の制御効果について述べる。まず系の性能を代表する電圧変化

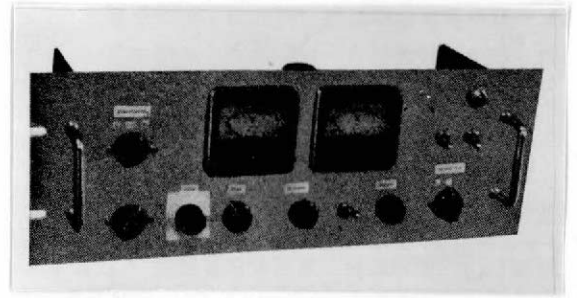


図 1.2.2 3 試作真空管式制御装置外観

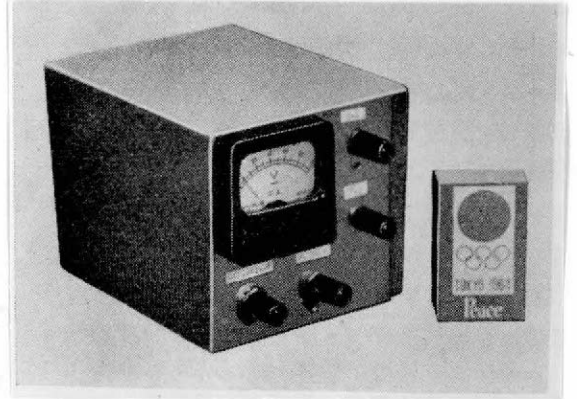


図 1.2.2 4 試作トランジスタ制御装置外観

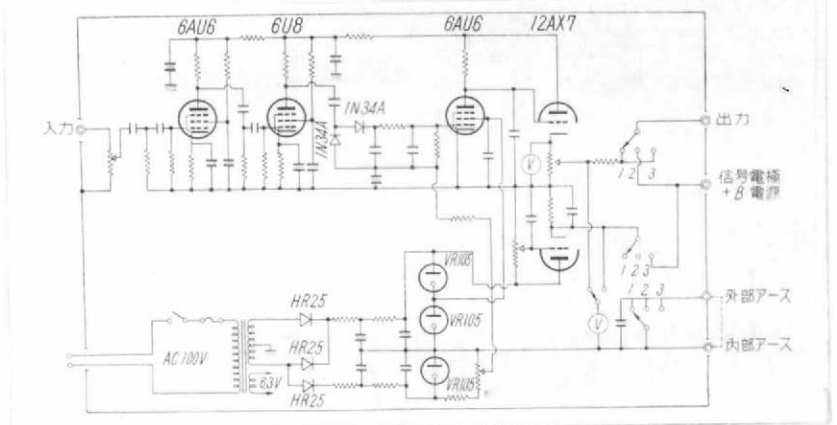


図 1.2.2 5 試作真空管式制御器の回路結線図

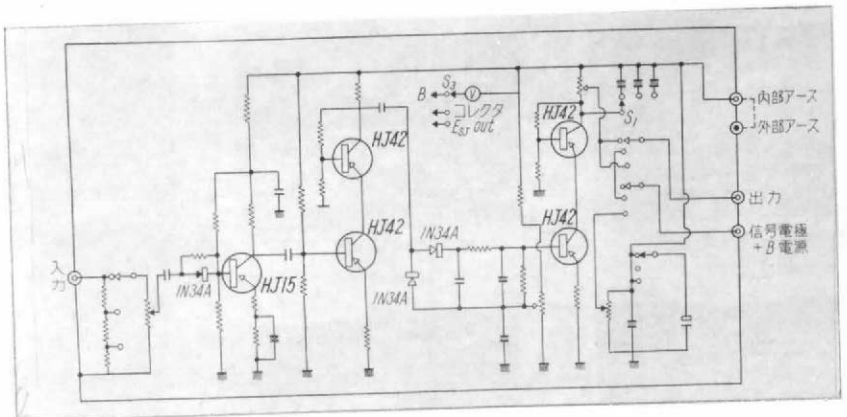


図 1.2.2 6 試作トランジスタ式制御器の回路結線図

量，応答時間および安定度の関係を
図 1.2.2 7 に示す。同図は固有信号
電極電圧 50 V のビジコンを，50
V の中心信号電 極電圧で使用し，

64 倍の光量変化を与えた時の電圧
変化量と応答時間（入射光を急激に
増加，減少させたとき，信号電極電
圧が定常値に達するまでの時間）の
関係である。図の左方の曲線は本制
御装置の特性，右方の曲線は増幅器
周波数特性に適正な設計がなされな
かった場合の一例で，A，B，C 点
は代表動作点である。図から制御回

路の設計がいかに制御効果に大きな影響を及ぼすかがわかる。

(2) 安定動作限界における中心信号電極電圧と電圧変化量，制御器利得の関係

図 1.2.2 7 の関係は一つのビジコンを例にとった代表動作特性を表わすものであるが，任意のビジコンを任意の中心信号電 極電圧 E_0 で動作させると，動作の安定限界ではどの程度の電圧変化量が得られるか，またこの安定限界に制御装置を設定するには制御器利得をどうすればよいか。この問題を知ることは制御装置の実際の操作には不可欠の事項である。これに関する実験結果を図 1.2.2 8～図 1.2.3 0 に示す。

図 1.2.2 8 は 3 本のビジコンについて，それぞれ中心信号電極電圧 E_0 を変えた場合，制御器利得を調整して発振寸前の安定動作限界に設定しておき，その最大電圧変化量を求めたものである。図 1.2.2 9 はその時の信号電流値を，図 1.2.3 0 は設定した制御器利得（制御器入力調整

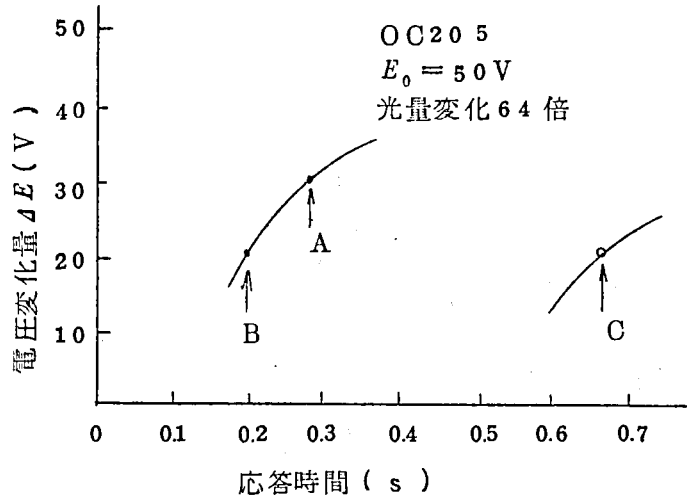


図 1.2.2 7 試作制御装置の電圧変化量，応答時間，安定度の関係

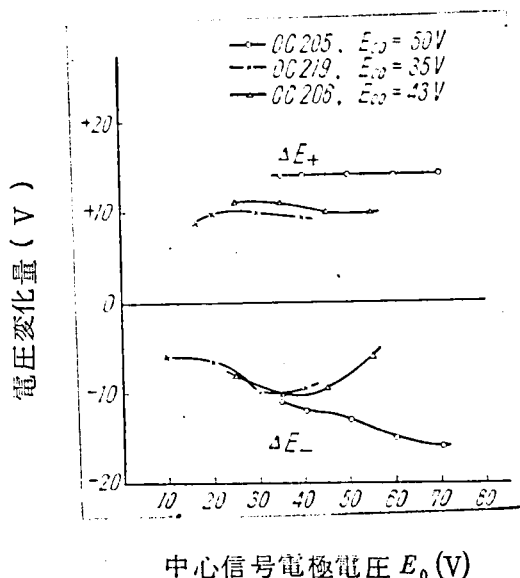


図 1.2.2 8 安定限界の電圧変化量特性

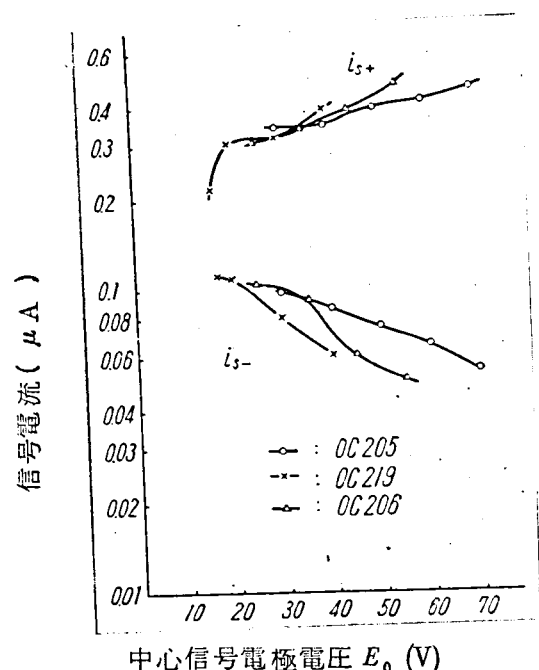


図 1.2.2 9 安定限界の信号電流

の目盛値で表示)を示すものである。なおこの一連の実験では制御器の時定数は前述のA点の条件に設定した。

これらのデータは安定動作限界の設定が実際上かなり微妙であるため、相当バラついた値を示している。しかしこの一見とりとめのないデータも2.2.3項、2.3.2項の各種考察をもとに検討し、整理すると、図1.2.31～図1.2.33のように、かなり整然とした特性に表示できる。

図1.2.31～図1.2.33はきわめて興味深いデータであり、制御器操作にあたって注意すべき多くの事項を示しているので、以下各図ごとに考察検討を行ってゆく。

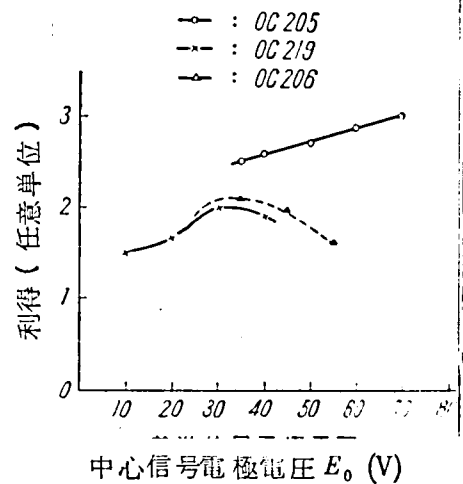


図 1.2.30 安定限界に対する利得

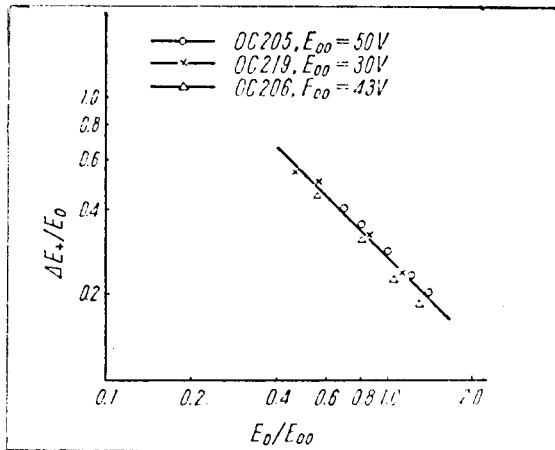


図1.2.31(a) 安定限界の電圧変化量特性
(光量減少, 電圧増加の場合)

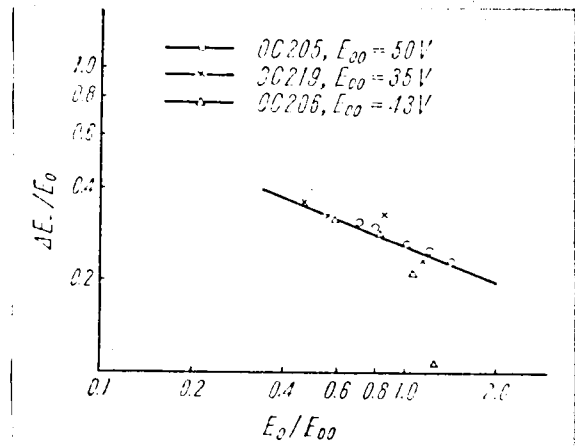


図1.2.31(b) 安定限界の電圧変化量特性
(光量増加, 電圧減少の場合)

(a) 電圧変化量の設定

図1.2.31は実験データ(図1.2.28)を書改めたもので、縦軸は制御効果の一つの尺度である $\Delta E/E_0$ で示し、横軸は E_0/E_{00} で示している。図からどのようなビジコンでもその固有信号電極電圧 E_{00} に比例した中心信号電圧 E_0 で動作させれば、応答時間をも含めて同一の制御効果が得られるという、きわめて常識的な結論が見いだされる。次に E_{00} の選んだ一つの管について、どのような E_0 で動作させればよいかという問題については、 E_0 は低いほうが制御効果の点で好ましいが、一般に E_0 を低く設定することは感度低下の点から入射光量の大きい場合でないと無理である。したがって E_0 は与えうる光量、感度と制御効果の兼ねあいで決定する必要がある。

(b) 信号電流の推定

図1.2.32は実験データ(図1.2.29)を2.2.3項の考察、たとえば図1.2.5を参考にして、制御信号電流を $\Delta E/E_0$ に対してプロットしたものである。なお図中の点線は図1.2.5実線の

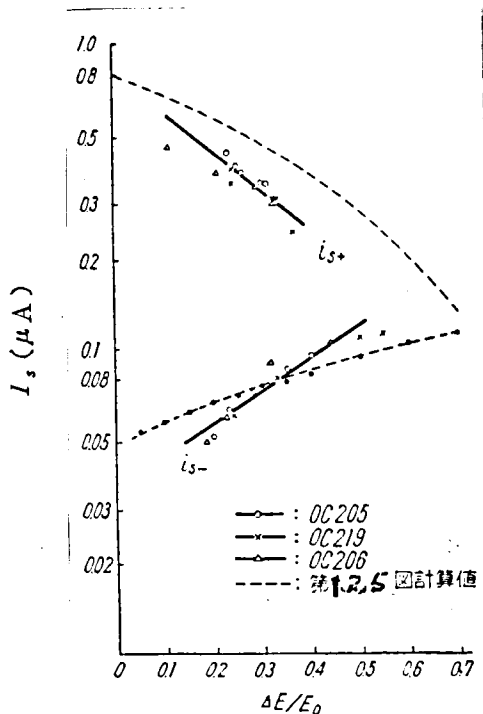


図 1.2.3.2 安定限界信号電流 特性

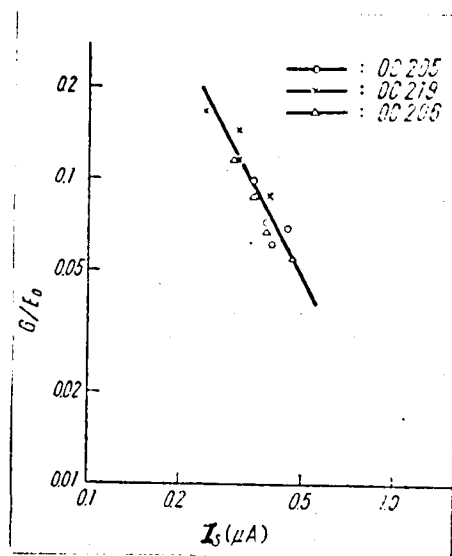


図 1.2.3.3 安定限界の利得特性
(光量増加, 電圧減少の場合)

計算値を併記したものである。図から実験値は光量減少, 電圧増加の場合にはかなりよく理論値と一致していることがわかる。一方, 光量増加, 電圧減少の場合は傾向は一致しているが, 絶対値がかなり異なっている。しかしこれも図 1.2.6 と考え合わせるとある程度妥当な値といえよう。実際の制御動作に対して, 図 1.2.3.2 のようなデータから, さらに理論値をもとにして, 信号電流を電圧変化量から大体推定することができる。

(c) 制御器利得の調整

図 1.2.3.3 は実験データ (図 1.2.3.0) を安定限界における信号電流と利得の関係で書き改めたもので, 利得は制御特性が $\mu' = \mu/E'$ で決定されることを考慮して G/E_0 の形で表わしている。この特性は使用する装置および時定数によって異なるが, 一度このような特性を求めておけば, 決められた応答時間のもとで安定な最大制御効果を与える制御系利得を容易に設定することができる。

2.4.3 制御効果

最後に試作制御装置による具体的な制御効果について述べる。

(a) 光量対信号電流 特性

図 1.2.3.4 は制御効果を示す光量対信号電流特性の一例である。この実験は中心信号電極電圧 E_0 を変えて行っており, 図 1.2.4. と同様な関係が示されている。なおこの特性の傾斜は制御効果を示す一つの尺

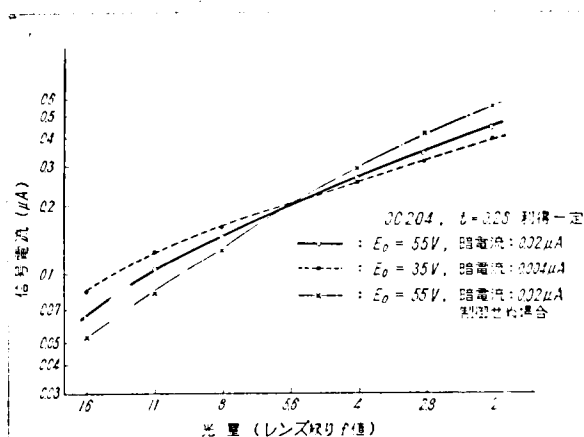


図 1.2.3.4 光量対信号電流特性 (制御時)

度ではあるが、光電変換特性の r とは本質的に異なるものであることは注意すべき点である。また傾斜（見かけ上の r 値）は応答時間さえ問題にしなければ、さらに小さくできるので、制御効果を厳密に表示するものではない。

(b) 時間応答

制御系の時間応答特性を示す実験例を図1.2.35に示す。同図は急激な入射光変動（光量増加8倍、または光量減少 $1/8$ 倍）を与えたときの信号電極電圧および映像信号の応答を示すオシロスコープ波形である。図の(a), (b), (c)はそれぞれ図1.2.27 A, B, C, 3動作点に対応するもので、設計に考慮を払わないC点の動作特性が、いかに悪いかが明らかにわかる。

(c) 映像効果

制御効果が実際の映像でどう表われるかを記す。まず図1.2.36は二次元明度計をレンズ絞りで変化させた時の非制御時の映像および信号波形の写真である。一方本制御を行なった場合の映像および信号波

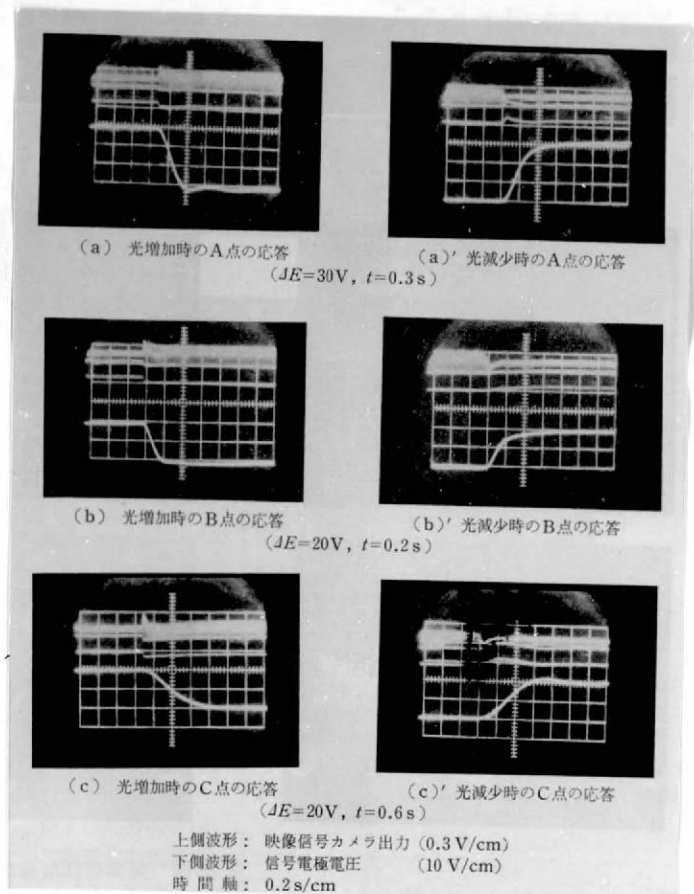


図1.2.35 各種制御条件下の応答特性

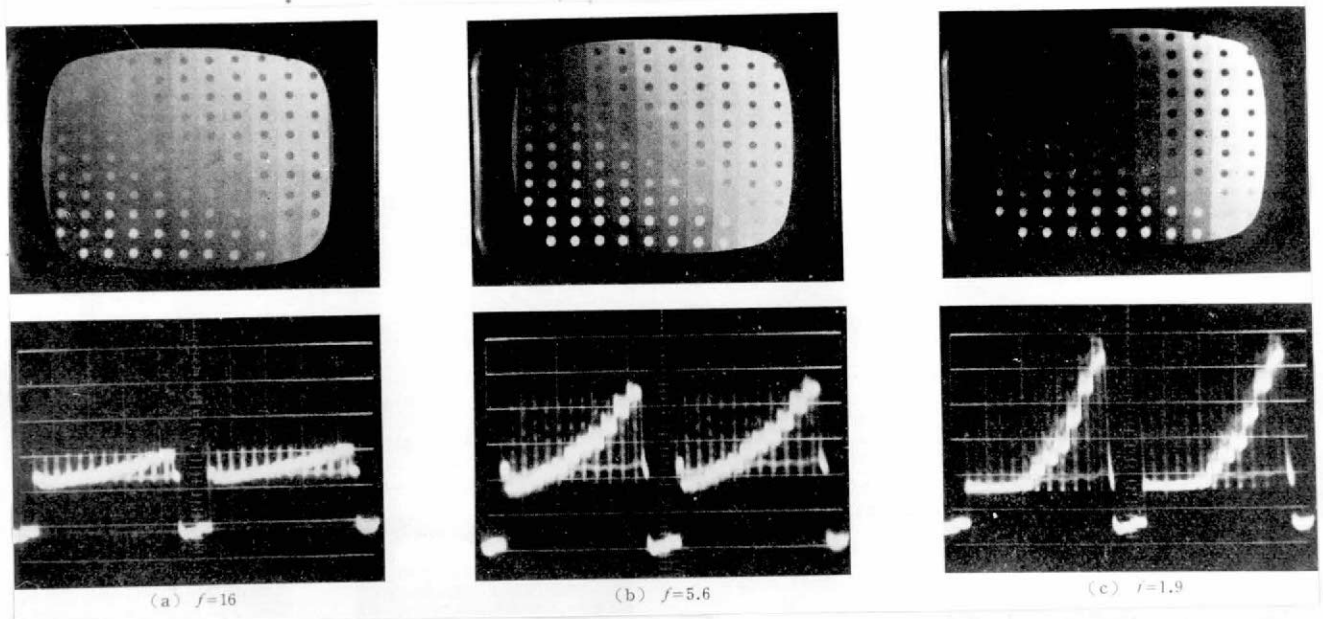


図1.2.36 二次元明度計の映像および信号波形（非制御時）

形の写真を図 1.2.3 7 に示す。両図において、(a) はレンズ絞り $f:1.6$ 、(b) は $f:5.6$ 、(c) は $f:1.9$ の時の映像で、(b) 図が基準状態である。この場合の基準状態としては $E_0=3.0\text{V}$ (暗電流 $0.01\mu\text{A}$)、 $I_{s0}=0.2\mu\text{A}$ を与えており、電圧変化量は $\Delta E=1.7\text{V}$ である。

図 1.2.3 6、図 1.2.3 7 から制御効果をはっきりとわかるが、さらに典型的な制御例を図 1.2.3 8、図 1.2.3 9 に示す。図 1.2.3 8 は人物の背景のみが著しく明るくなった場合、図 1.2.3 9 は人物のみが著しく明るくなった場合の映像写真で、制御が画質改善に大きく貢献していることが示される。

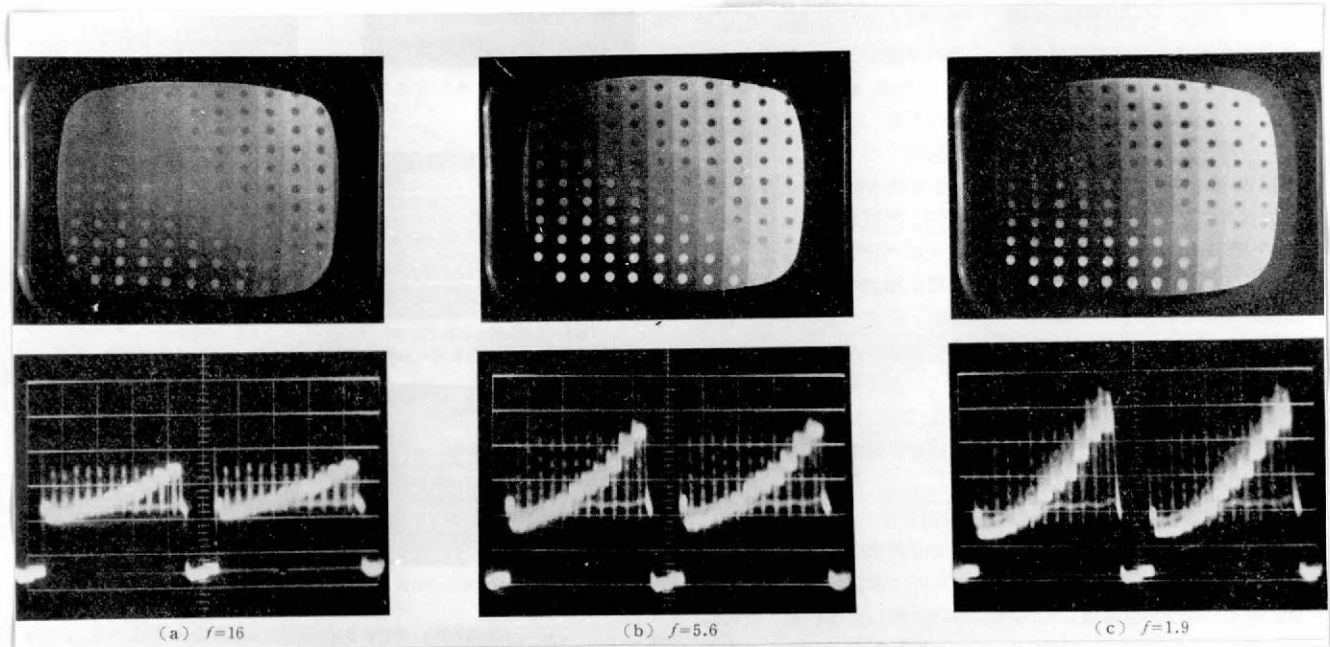


図 1.2.3 7 制御を行なったときの映像および信号波形



(a) 正常映像

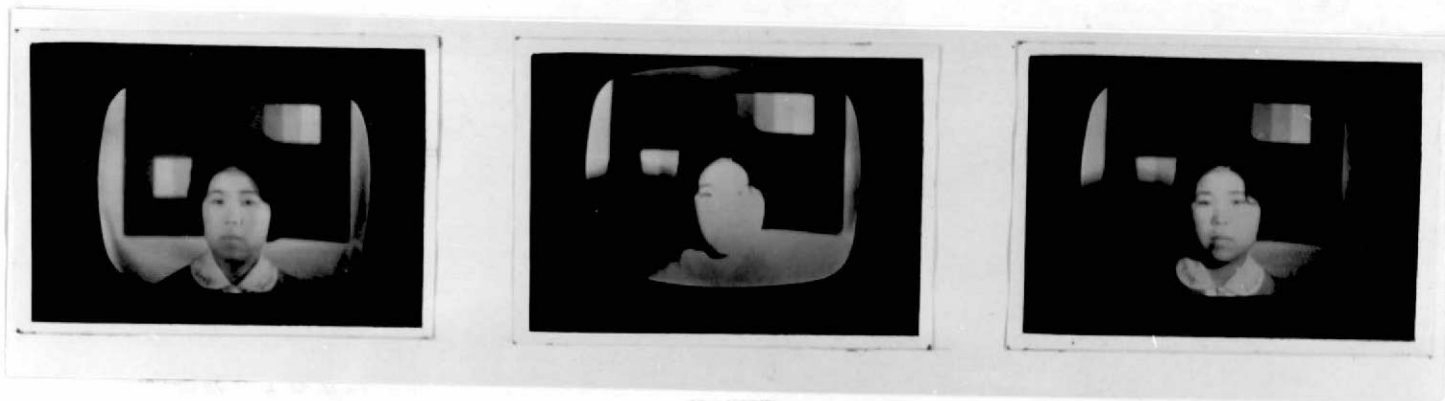
(b) 背景を明るくした場合の黒つぶれ映像

(c) (b) の条件で制御した場合

図 1.2.3 8 黒つぶれ現象に対する制御改善効果

以上は制御効果を静的な映像状態で示したものであるが、時間応答をも示す動的な映像変化の模様を次に示すことにする。

図 1.2.4 0 はフィルム送像用カメラ付属の光学的マルチプレクサをリレーで駆動し、ビジコン



(a) 正常映像

(b) 人物のみ強く照明した
場合のビーム不足
映像

(c) (b)の条件で制御した
場合

図 1.2.39 ビーム不足に対する制御改善効果

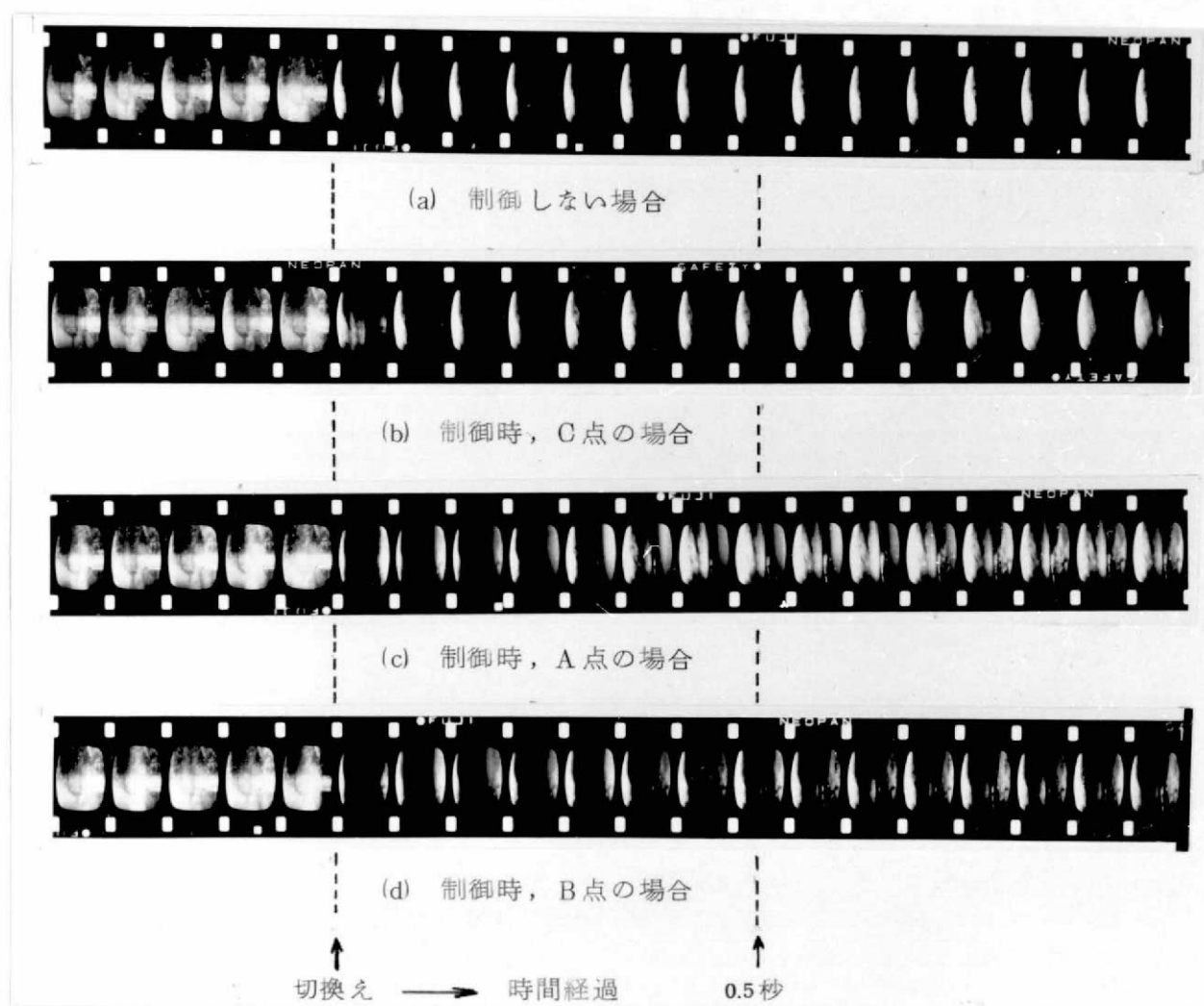


図 1.2.40 映像で見た応答特性（毎秒15駒）

へ撮像する光学像（スライドおよびフィルム1画面）を切り換えた場合の映像変化を16mm映画フィルムで撮影（こま送り：15こま/秒）したものである。図において、(a)は非制御時、(b)は図1.2.27C点を制御動作点に選んだ場合、(c)は同じくA点を動作点とした場合、(d)は同じくB点を動作点に選んだ場合の制御効果を示すものである。図から制御効果、応答時間の程度およびその関連がある程度具体的に見当づけられるであろう。実際のフィルム送像に本制御を適用してみると、信号電極電圧は画面に対応してかなり激しく変動しているが、映像上になんらの不自然さは感じられない。0.2～0.3秒程度の遅れはよほど明暗の著しい画面変化のときでなければ一般観察者はほとんど気がつかない。一方制御の遅れが多少気になるような画面変化の場合には、制御をしなければ完全に黒つぶれそのほかで画質が極端に低下した映像を生ずるのであるから、制御の効果は十分と認められる。

2.5 ま と め

ビジコンのラチチュード拡大による画質改善を目的とするビジコン信号電流を用いた信号電極電圧制御方式すなわちビジコン感度の自動制御について基本原理、ビジコンならびに回路に関する考察、制御系の設計法および試作装置の概要と実際の制御効果について報告を行なった。

本報告の結論をまとめてみると次のようになる。

(1) 制御は基本式(1.2.1)のなりたつ範囲で正常動作を行ない、管によるバラツキは比較的少ない。

(2) 応答時間はビジコンの光に対する応答および信号電極電圧変化に対する応答で制限され、特に後者の電圧降下時の応答が制御に決定的影響を与える。そして応答時間は0.1秒程度が限界である。

(3) 信号電極電圧変化に対するビジコンの信号応答の遅れは光導電膜表面電位の変化および光導電膜の充放電機構に依存する。電圧降下の信号消滅時間は光量が大きく、信号が大なるほど、また ΔE が小さいほど短い。

(4) 制御系の発振、不安定性は映像信号がカメラ系で正常に伝達されないことに起因する。また上記ビジコンの信号電極電圧降下時の信号消滅も過渡振動の原因である。

(5) 制御回路系の設計は交流増幅部の下限カットオフ周波数 $f_{ca}=60\sim100\%$ に選ぶのがよい。また直流増幅器の設計は ΔE の大きさで決定される。

(6) 制御の安定限界は E_0/E_{00} で決定され、 E_0 の値は感度と電圧変化量の2点で決めることになる。 E_{00} と E_0 がわかれば限界の ΔE_+ 、 ΔE_- の値がわかり、さらに $\Delta E/E_0$ 、したがって制御効果の目安がつく。またこれから制御器利得調整の設定値が求められる。

(7) 試作制御系で得た制御効果は $E_{00}=50V$ 、 $\gamma=0.65$ のビジコンに対し応答時間0.2秒で $\Delta E=20V$ 、また応答時間0.3秒で、 $\Delta E=30V$ 、映像上からみた効果もかなり大きい。さらに効果を高めるにはビジコンを選び、 E_{00} が低く、高感度で残像の小さい管を使用する必要がある。

上記事項は従来未知、未発表であり、この制御方式の問題点、動作限界、設計、操作のやり

方などについてかなり解明され、一応の結論で出せたものとする。

この制御方式は信号電極電圧および入射光変化に対する信号発生が遅れというビジコンのある程度本質的な性質によって制御効果および時間応答に限界があるが、現在考えられる他のどの方式よりも簡明であり、総合的效果においてすぐれたものといえよう。

第 2 章 の 参 考 文 献

- 1) 三堀：テレビ誌，18(1964) 630～637
テレフィルムポジ画像特性と撮像露光規正に関するNET方式
- 2) 樋渡，三尾，松崎：テレビ誌 12(1958) 372～376
ビディコンカメラ系の自動光量制御
- 3) 井上，浜屋敷，太田：テレビ誌 13(1959) 539～544
撮像管自身の光電流を利用するテレビカメラ自動光量制御方式
- 4) 鈴木，藤村：テレビ誌 18(1964) 425～429
電氣的補償回路によるビジコンフィルムカメラのイメージオルシコン画調への近似
- 5) 駒井，高橋，坂田：特許，公告昭36-10718
テレビジョンの撮像方式
- 6) 日比，武井：テレビ用電子管研究委員会(昭35-1)
ビジコン画質改善の一方法
- 7) 日比，武井：テレビ誌 15(1961) 624～630
ビジコン画質改善の一方法
- 8) 日比，武井：日立評論，記念論文集(昭37-9) 127～140
ビジコンの感度制御による動作光量領域の拡大
- 9) S.L.Bendell, K.Sadashige: J'l SMPTE 69(1960, Apr) 259～260
An Automatic Sensitivity Control for Monochrome Film Cameras
- 10) 西田：テレビ誌 16(1962) 82～90
ビジコンの動作と設計
- 11) 日比，三友：特許，公告 昭39-24598
ビジコン感度自動制御装置

第 3 章 電子衝撃導電形撮像装置の実験

第3章 電子衝撃導電形撮像装置の実験

3.1 まえがき

高速電子線で誘電体や絶縁体を衝撃すると、その内部抵抗が一時的に変化する現象がある。この電子衝撃導電効果は無晶形セレン、酸化シリコン、硫化砒素などに顕著であり、50～100 kVの高速電子線により衝撃電流の1000倍を越す導電電流が得られることが報告¹⁾²⁾³⁾されている。この大きな電流利得の応用については、1948年英国EMI社より広範な特許⁴⁾が出願されているが、具体的な例としては、R.W. Decker らによるテレビ撮像管Ebi-con⁵⁾の開発と、M.E. Haine の電子顕微鏡像のテレビ映像化の研究^{6) 7)}が代表的なものである。筆者はビジコン開発の経験、技術を基に、M.E. Haine と同様に電子衝撃導電形テレビ装置を電子顕微鏡と組合わせた、いわゆるテレビ電子顕微鏡に関する実験を行ない、その効果を確認した^{8) 9)}。この実験は我が国始めてのものであり、これを基礎に開発された電子顕微鏡用輝度増倍装置は、国内外を通じて最初の実用化製品となっている。

3.2 テレビ電子顕微鏡の原理

(1) テレビ電子顕微鏡の意義

電子顕微鏡が極微の世界を追求する手段として、その分解能は保証値 $7\text{ }\overset{\circ}{\text{A}}$ に達し、さらに良い条件の下では理論的限界値 $3\sim 4\text{ }\overset{\circ}{\text{A}}$ に近い値まで得られている。しかし、像観察の手段については、電子顕微鏡開発の当初よりほとんど改善が行なわれていないのが実情である。電子顕微鏡における像の観察は終像けい光板の像を直接肉眼で見ることによって行なわれるが、けい光板の輝度不足から暗室操作が必要であるばかりか、試料のいかんによっては直接観察が不可能な場合もある。また、これにより試料の動的変化のシネ撮影を行なう場合には輝度不足に原因し、駒数を極端に落とさねばならないといった不便をさげ得ない。

一方、電子線によって直接感光させる写真撮影の手段が広く併用されているが、像の焦点合わせなどにはけい光板の肉眼観察が必要であり、経験を頼りにする盲撮影を行なわねばならない場合さえ生ずる。これらの問題はすべてけい光板の輝度不足にもとづくもので、電子顕微鏡像の輝度を増倍する装置の出現が以前から切望されていた。

電子顕微鏡像を明るく観察する手段としては、現在までにいくつかの試みがなされているが、大別して次の三つになる。

- (a) 高解像度のけい光板（たとえば単結晶体）を用い、光学顕微鏡で拡大、観察する方法。
- (b) 光電子放射、2次電子放射を利用して順次増倍された電子像をけい光板上に結像する。いわゆるイメージンテンシファイヤ類似装置を用いる方法。

(c) けい光板上の像を高感度撮像管で撮像する方法。

(d) 電子衝撃導電効果を利用し、テレビ撮像管類似の方式によりテレビ映像を得る方法。

このうち(a)はCdS単結晶を液体水素温度まで冷却して高輝度を得るなどの試みもあるが、

単結晶の製造法，その発光能率，あるいは顕微鏡観察という問題点があり，実用化に至っていない。(b)は各種電子光学的あるいは光学的レンズの導入が必要であり，多くの困難がある。(c)は高輝度蛍光体の他に，きわめて高感度な撮像管が必要である。ただし最近の高感度の SEC ビジコン等の開発が進められており，今後の発展が期待される方法である。(d)は電子衝撃導電効果を利用し，Ebicon の原理によってテレビ映像化する本研究の方法である。

本方式の完成によって得られる利点は次のようなものが考えられる。

(a) 低電子流密度 (10^{-11} A/cm^2 程度以下) の電子線像をテレビ映像により直接観察できるので，試料面の電子流密度を低下させうる^{*}。このため，電子線で破壊されやすい試料の直接観察が可能となる。

(b) 電子顕微鏡像を明るい部屋で，同時に多数の人が観察できる。

(c) 電子顕微鏡より離れた場所で像が観察でき，電子顕微鏡の遠隔操作が可能となる。特に，超高圧電子顕微鏡においてこの遠隔操作は有効な手段となろう。

(d) テレビ回路の調節によりコントラストをある程度自由に変えうるので，複雑な試料の観察が容易となる。

(e) 電子顕微鏡像を間接的に容易に映画撮影できるので，検鏡試料の速い変化を追跡できる。また，テレビ録画も可能である。

(f) 電子顕微鏡像の直接テレビ放送が可能となる。

以上の利点は電子衝撃導電性ターゲットの高い電流利得特性による輝度増倍効果と，テレビの導入の二者の組み合わせによってはじめて総合的に得られるものである。

(2) テレビ電子顕微鏡の原理

テレビ電子顕微鏡の構造は図 1.3.1 に示すように，電子顕微鏡本体，電子衝撃導電ターゲット，低速電子走査管およびテレビ装置の 4 部より構成される。

電子顕微鏡本体の動作は，電子銃から出た高速電子がコンデンサレンズを経て試料に当たり，これを透過した電子ビームは，さらに対物レンズおよび拡大レンズによって電子線像を形成し，像観視手段—けい光板，写真フィルム，テレビ電子顕微鏡用ターゲット—を衝撃するものである。

次にテレビ電子顕微鏡用ターゲットは，上記電子ビームが当たると電子衝撃導電効果により電子ビーム量に応じた抵抗変化を生ずる。その構造は図 1.3.2 に示すように高速電子ビーム側に電子線透過性のターゲット支持膜があり，これに信号取り出しのためごく薄い導電金属膜がつけられている。この信号取出電極には外部から正の数 10 V の電位が与えられる。ターゲット支持膜には電子衝撃導電性のセレン膜が蒸着され，その表面は図示のように低速度電子の走査によって低速電子走査管の陰極電位に保持される。

* 電子顕微鏡における普通のけい光板観察時の電子流密度は 10^{-10} A/cm^2 程度であり，テレビ電子顕微鏡における 10^{-11} A/cm^2 の値はわずか $1/10$ の減少であると考えられやすいが，テレビ電子顕微鏡ではターゲット面上での倍率を小さくしうるので，倍率を考慮した試料 1 要素当たりの電子流密度からいうとほぼ $1/1000$ 程度になることに注意。なお，写真乾板による撮影の場合は，露出 1 秒として $5 \times 10^{-11} \text{ A/cm}^2$ 程度である。

このような動作条件下では，電子衝撃導電ターゲットの低速電子走査面側にはビシコンと同一原理で，高速電子線像による抵抗変化のため正の電荷模様形成，蓄積される。この電荷が低速電子の走査によって放電され，信号電極から信号として取り出される。

低速電子走査管はターゲットに対し定められた方式で走査を行なわしめるもので，これに必要な低電圧の電子銃，集束電極などを有する。テレビ装置はターゲットからの信号をテレビモニタ上に表示するための増幅，偏向などの諸回路から構成されている。

以上がテレビ電子顕微鏡の概略の構成と動作原理である。

3.3 電子衝撃導電膜とその特性

3.3.1 電子衝撃導電膜の概要

衝撃導電材料としては従来よりシリカ，酸化アルミニウム，三硫化砒素，セレン等の薄膜について研究^{1) 2) 3)}が行なわれており，このうち特に，三硫化砒素とセレンの薄膜とが衝撃導電利得が大きい。筆者らはテレビ電子顕微鏡用電子衝撃導電ターゲット用として，主としてセレン膜について研究を行なった。以下セレン膜の電子衝撃導電特性について述べるが，本章の結果はみなサンドイッチ状試料によるものである。

セレン膜の電子衝撃導電特性を調べるために，図 1.3.3 に示すような試料を種々作成した。すなわち，試料はガラス基板上に金属膜，セレン膜，金属膜の順で蒸着した。

衝撃導電材料であるセレンは製作条件により，無晶形，単斜晶形，六方晶形の 3 種の結晶状態ができるが，テレビ電子顕微鏡ターゲット用として，その原理から明らかなように膜の高抵抗性が要求されるので，無晶形セレンを用いた。

無晶形セレンはセレンの鎖状分子が不規則に配列したもので，比抵抗は $10^{12} \Omega \cdot \text{cm}$ 程度，p 形伝導が支配的である。次に，セレンを挟む導電金属膜は数 10 kV の電子線に対して吸収が少なく，その効果が無視できる程度に薄くしてある。

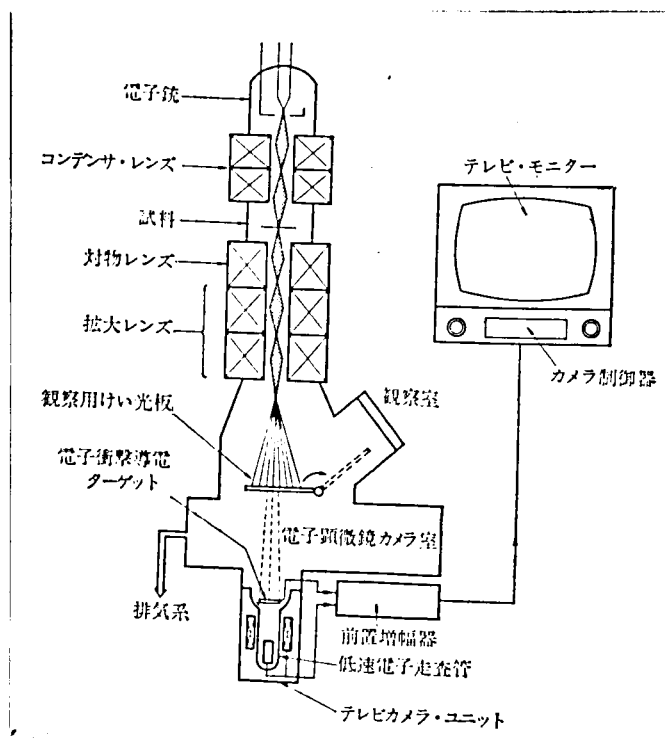


図 1.3.1 テレビ電子顕微鏡装置

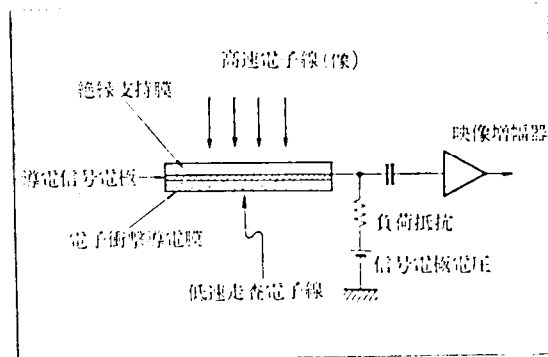


図 1.3.2 電子衝撃導電ターゲットの基本構成

上記材料の特性には、高速電子ビーム源として電子顕微鏡を用いたが、その測定回路を図1.

3.3に示す。図においてスイッチ S_1 を閉じれば1次電子電流(i_p)が測定され、スイッチ S_2 を閉じればセレン膜両面に電圧 v が印加され、電子衝撃導電電流(i_b)が求められる。電子ビームをしゃへいすれば、暗電流(i_d)が求められる。

いま、式(1.3.1)のように衝撃導電電流の増加分と1次電子電流の比を利得 g と定義すればこの g によって衝撃導電膜の感度を表示してゆることができる。

$$g = \frac{i_b - i_d}{i_p} \quad (1.3.1)$$

3.3.2 セレン膜の衝撃導電特性

(1) 衝撃導電利得と印加電圧および1次電子流密度の関係

電子衝撃導電膜の衝撃導電特性の一例を図1.3.4に示す。これは電子線の加速電圧を50kV一定とし、印加電圧は電子線入射側を正極性とした場合である。図4のようにどのような試料でも一般に衝撃導電電流は印加電圧の増大にしたがって増加する。また、同一印加電圧の下では1次電子電流 i_p の小さいほうが利得そのものは高い。この関係は図1.3.5によっていっそう明らかである。

このことは、電子顕微鏡のように電子線像の輝度増倍が低電子線密度の場合において特に必要とされる場合、きわめて有利な点といえる。

(2) 衝撃導電利得と加速電圧の関係

衝撃導電利得は加速電圧、したがって1次電子のエネルギーの増大に伴って増大するであろうことは当然予測されるが、ある程度以上加速電圧が大きくなると膜に衝撃効果を与えずに透過する電子線が出てくるので、利得と加速電圧の関係には最大値が現われる。図1.3.6はこの関係を示す一例で、実線(a), (b)は膜厚を異にし、(a)の場合は膜が厚いため実験範囲では最大値が現われてこなかった。

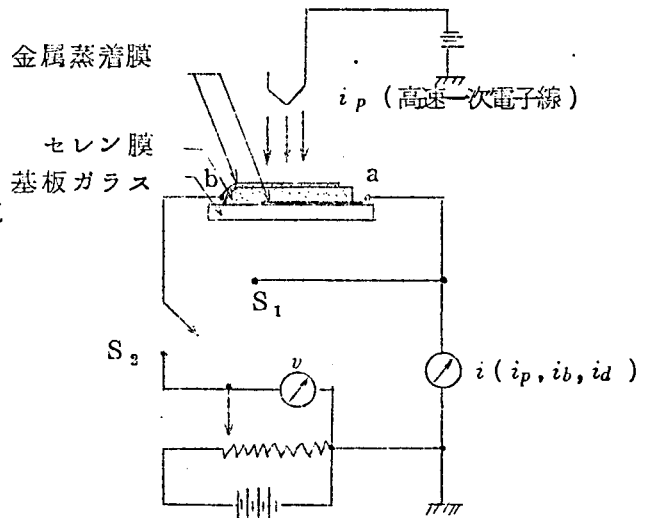


図 1.3.3 セレン膜試料の構造と測定回路

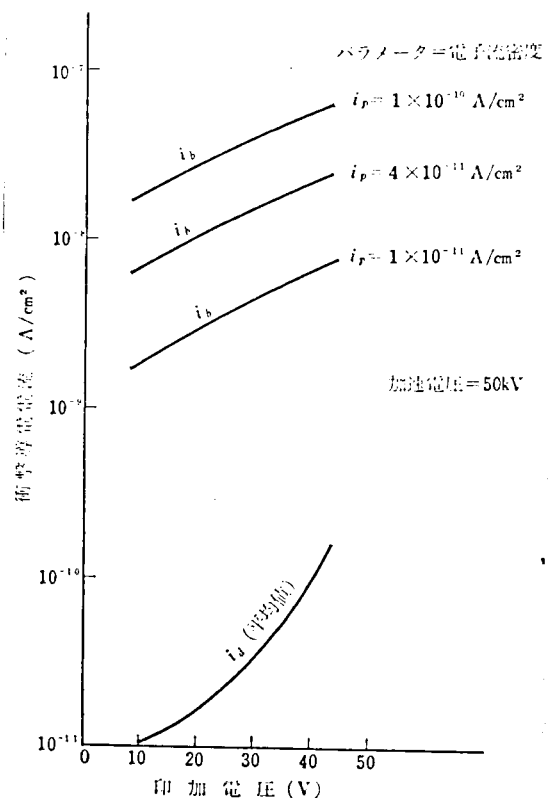


図 1.3.4 衝撃導電電流 i_b と印加電圧との関係

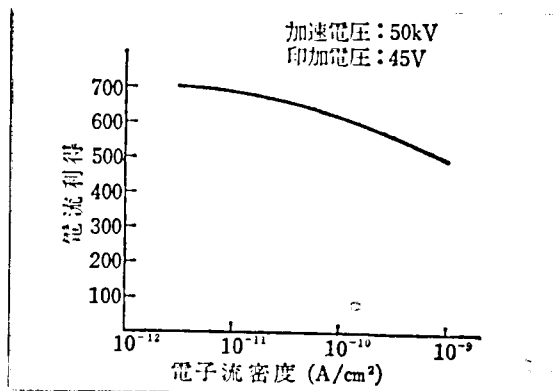


図 1.3.5 電子線密度と利得との関係の一例

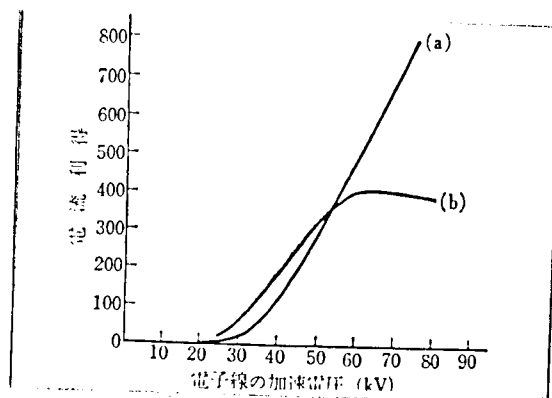


図 1.3.6 電子線の加速電圧と衝撃導電利得の一例

(3) 衝撃導電特性と膜内電界方向の関係

セレン膜の衝撃導電機構を調べるため、膜にかける印加電圧の極性を変えて実験した結果を図 1.3.7 に示す。実線(a)は電子線側電極を正・点線(b)は電子線側電極に負の電位を与えた場合の加速電圧対電流利得の関係である。この図から両特性にかなりの差があることがわかる。

まず(a)曲線は印加電圧 90 V の場合、加速電圧 5.5 kV ですでに利得が観測され始めるに対し、(b)曲線の場合、同一印加電圧でも加速電圧が 20 kV に達しなければ利得が得られない。このことはセレンの伝導機構¹⁰⁾に関係があり、曲線(a)の場合は移動距離が長いセレンの自由正孔による伝導にもとづくもので、正極のごく近傍にしか透入しないような低加速電圧の電子線に対しても、印加電圧さえ適当であれば利得が得られる。

一方、曲線(b)は移動距離の短いセレンの電子伝導によるため、十分内部まで電子線が透入しないと自由電子が反対極に到達し得ないものと解釈される。

なお電子線の透入深さについては、薄膜中を透過する電子のエネルギー減衰率に関する、Thomson-Widdington の法則から¹¹⁾、電子の加速電圧の二乗に比例することが示されている。これから上記(b)曲線の立上りに対応する透入深さは(a)の 1.3 倍、ほぼ数 μ に達するものと概算される。

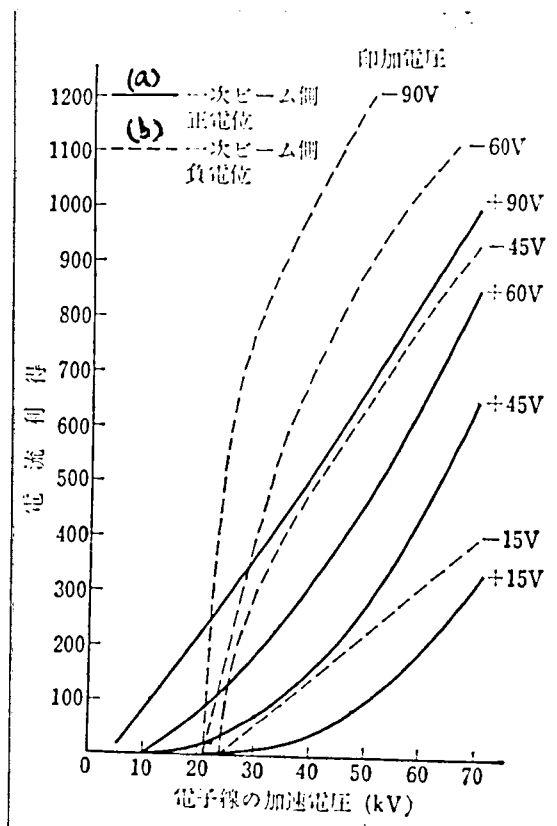


図 1.3.7 電流利得と加速電圧

(4) 試作衝撃導電膜の利得特性

最後に、上述の実験を基に試作したテレビ電子顕微鏡用電子衝撃導電ターゲットの特性の一例を示したのが、図 1.3.8 のターゲット電圧（印加電圧）対利得特性である。図からわかるように、利得は 2000 倍を越すが、実際の使用に当たっては、偽信号（キズ）の発生を生ずるので、ターゲット電圧の低いところで動作させねばならない。実際動作条件下での利得は普通 500~1000 倍程度であろう。

なお、セレン膜の残像については、実際の観察にほとんど障害とならない程度である。

3.4 テレビ電子顕微鏡装置の試作と撮像実験

3.4.1 テレビ電子顕微鏡装置の試作

(1) 構造の概要

試作テレビ電子顕微鏡装置の外観を図 1.3.9 に示す。その基本的構造は図 1.3.1 と同様である。本装置は最初は HU-10 形電子顕微鏡、次いで HU-11A 形電子顕微鏡（保証分解能 7 \AA 、加速電圧 50~100 kV、倍率 400~250,000 倍）に取り付けたが、その他の電子顕微鏡にもカメラ室の改造によって取り付け可能である。

電子衝撃導電ターゲットおよび低速電子走査管は、消耗品として容易に交換できる構造になっている。

テレビ装置は、カメラ部、特殊電源を除けば一般のテレビカメラ装置と同様であり、目的に応じて高級機から簡易形まで適当に選ぶことができる。表 1.3.1 はテレビ電子顕微鏡としての標準仕様の一例である。

(2) 電子顕微鏡

テレビ電子顕微鏡に使用する電子顕微鏡本体については、特に述べることはない。ただカメラ室のみが電子衝撃導電ターゲットを保持し、低速電子走査管およびテレビカメラ部分に取り付けられるような構造になっていることが普通と異なる点である。この電子顕微鏡と低速電子走査管の接合部の状況を図 1.3.10 に示す。電子衝撃導電ターゲットは、前述のように電子顕微鏡カメラ室の下方に保持されているので、高速電子線は観察用けい光板をはね上げ写真乾板を移動すれば、そのままターゲットに入射する。電子顕微鏡では焦点深度が深いので、上記三者の切り替えに際し、あらためて焦点の再調整を行なう必要はない。なお、けい光板や写真乾板に比較してターゲットの有効面積が小さいので、テレビ像は前二者に比して視野が狭いことになるが、これは電子顕微鏡の視野、倍率を調整すれば良く、所要の視野をとらえることは比

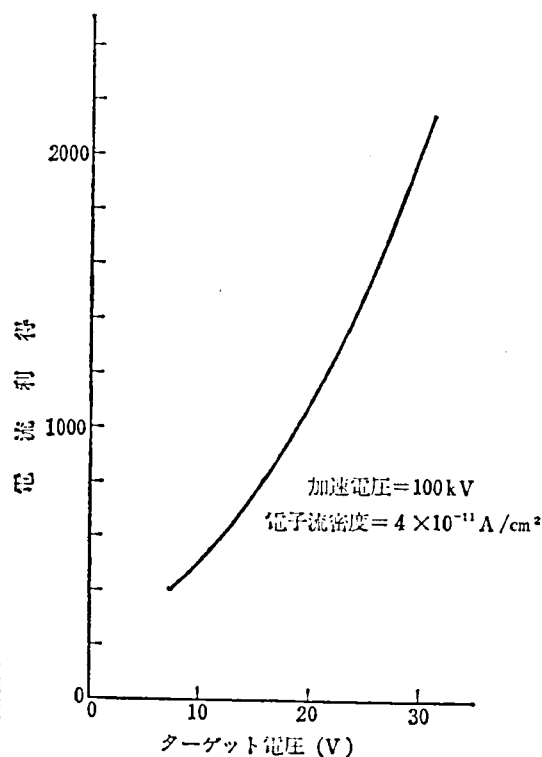


図 1.3.8 電子衝撃導電ターゲット特性の一例

較的簡単にできる。

表 1.3.1 テレビ電子顕微鏡の標準仕様

1. 観察可能最低電子流密度： $5 \times 10^{-12} \sim 1 \times 10^{-11} \text{ A/cm}^2$
(ただし，ターゲット膜上にて)
2. モニター上の拡大率：けい光板上の約40倍
(ただし14RP4A使用)ターゲット膜上の約25倍
3. 電源入力(国内)：100V，50Hzまたは60Hz，約70VA
4. カメラ，モニタ(含制御器)間距離：10m(最大150m)
制御器，受像機間距離：最大1000m
5. テレビ系
 - (1) 走査方式：ランダムインターレース
 - (2) 走査線数：525本(60Hz)または630本(50Hz)
 - (3) 毎秒像数：30枚(60Hz)または25枚(50Hz)
 - (4) 映像帯域幅：6MHz
 - (5) 解像力：水平400本以上
垂直300本以上
 - (6) 同期方式：電源同期

(3) 電子衝撃導電ターゲット部

電子衝撃導電ターゲットは、電子線透過性の有機絶縁薄膜(ポリスチロール)に金属蒸着膜を介してセレンを蒸着したもので、全体を金属リングに取り付けている。このターゲットの構成図を図1.3.11に示す。これは適当な絶縁物を介して電子顕微鏡カメラ室へ取り付けられる。また、上記金属リングから信号リードがカメラ室外壁を通して取り出され外部の増幅器へ接続される。

ターゲットを構成する無晶形セレンは、結晶化による画質低下を生ぜぬよう高温状態での使用は避けねばならない。セレン膜の寿命はこの点に注意すれば実際動作の下でもかなり長い。



図 1.3.9 テレビ電子顕微鏡装置の外観

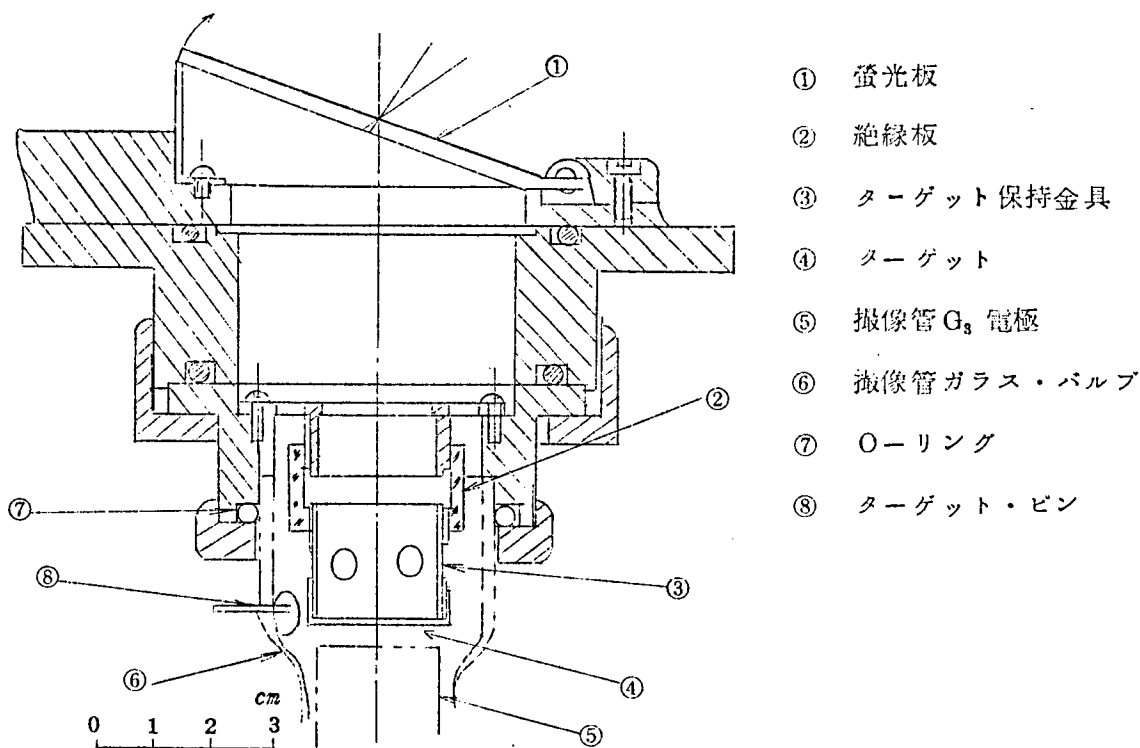


図 1.3.10 電頭鏡体と撮像管の接合部

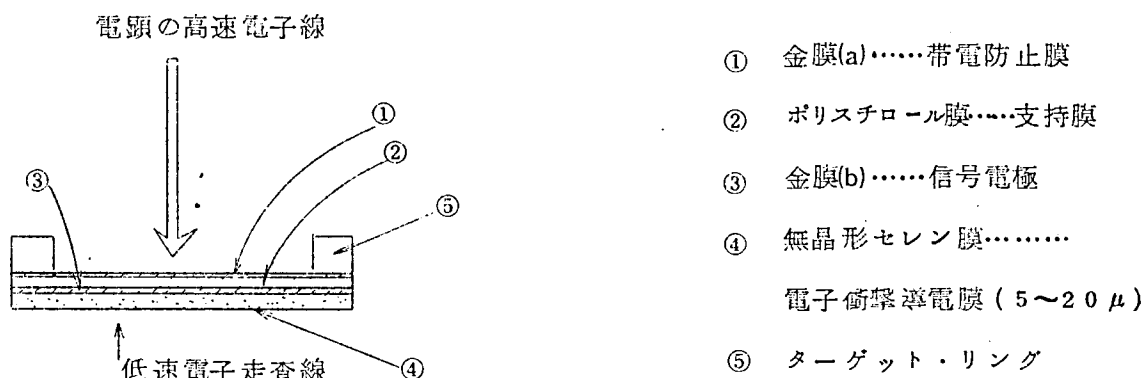


図 1.3.11 ターゲットの構成図

(4) 低速電子走査管部

テレビ電子顕微鏡用低速電子走査管は、1インチビジコンとほとんど同一の電極構造であり、外管のみ電子顕微鏡カメラ室への取り付けを考慮して上部を拡大している。この低速電子走査管の構造を図 1.3.12 に示す。また図 1.3.13 はターゲット部、低速電子走査管、テレビカメラの状態を示す外観写真である。電子顕微鏡への取り付けはバックリングを介してなされ、走査管は電子顕微鏡と真真空的に一体となっている。

走査管各部電極に印加する電圧は、ヒータ部分を除いては普通のビジコンと同一であり、偏向、集束も解像力の点から電磁方式をとることとした。偏向、集束用コイルアセンブリもビジコンカメラのものを使用しているので、必要に応じて高電圧集束など各種特性改善の方策を講

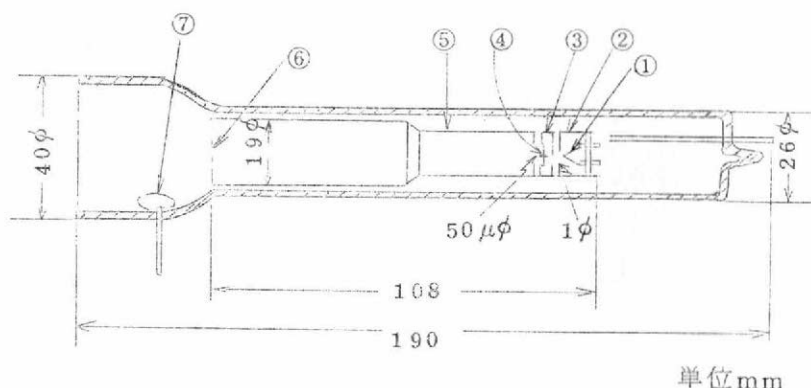


図 1.3.12 低速電子走査管の構造

ずることが可能である。

(5) テレビ装置

テレビ電子顕微鏡用テレビ装置はすでに述べたように、どのような形式のものでも使用できるが、第1段階として普通の工業テレビ装置を若干改造して使用した。改造の要点は低速電子走査管の形状が若干普通のビジコンと異なるので、電子銃導電ターゲットが一様集束磁界内に入るようコイルアセンブリを修正したことや、所要電源、計器を設けたことなどであり、また走査管の交換に便利のように走査管回りを極力小形、軽量化し、一方制御器などはカメラから別に分けて設けた。

テレビ電子顕微鏡のテレビ装置は、その画質を写真と比較して論ぜられる場合が多いので、画質の点ではかなり高度の要求がある。一方、あくまでも電子顕微鏡の付属装置であり、操作者がテレビには素人であるという点から、簡易、安価、安定であることが実用上もとても必要であろうと考えられる。

3.4.2 撮像実験結果

試作テレビ電子顕微鏡を用いて実際に試料を撮像した実験例を最初に示す。

図 1.3.14 は酸化亜鉛結晶 (ZnO) に対するもので、(a) は過焦点の像、(b) は不足焦点の像、(c) は正焦点の像である。過焦点の場合のフレネル干渉縞が明瞭に観察される。これらは従来、けい光板観察によってはかなり困難であった電子顕微鏡の焦点合わせの操作が、テレビ電子顕微鏡を用いて簡単かつ明るい場所で正確に行なえるようになったことを示す一例である。

次に図 1.3.15 はコロジオン膜孔のテレビ電子顕微鏡像で、孔の内側に 3 本のフレネル干渉

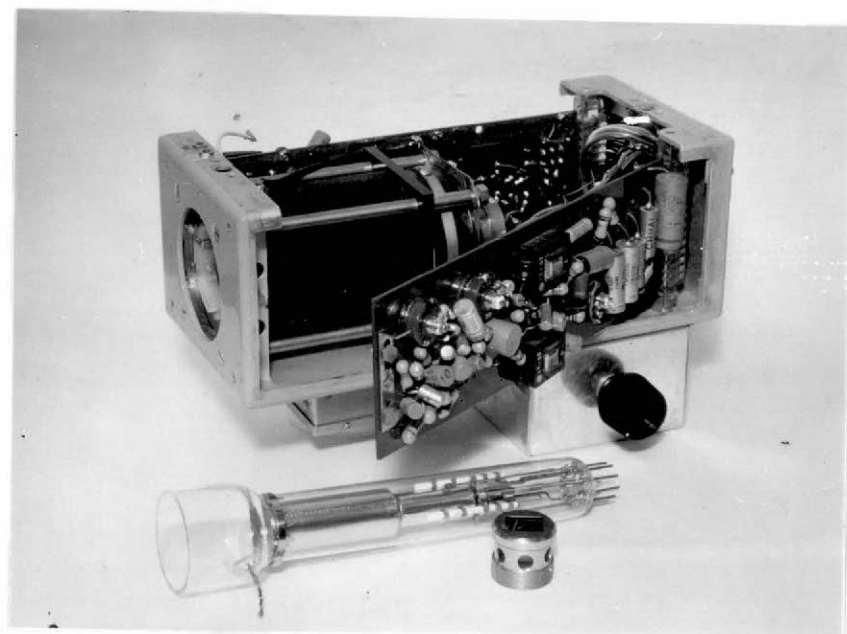
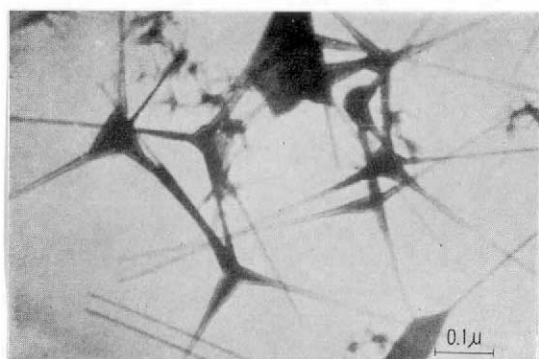
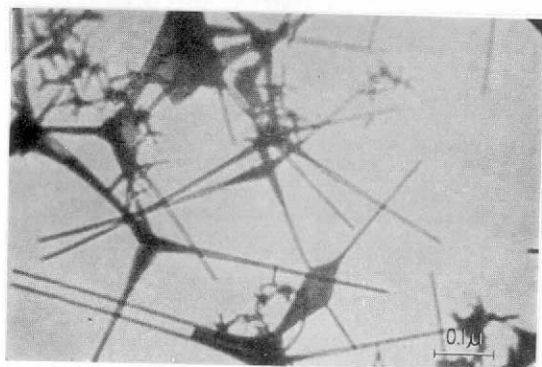


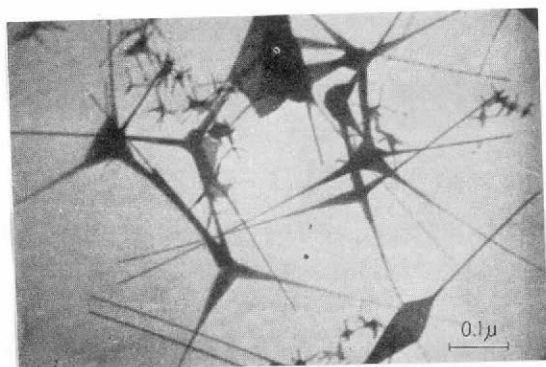
図 1.3.13 低速走査電子管，ターゲット，
テレビカメラの外観



(a) 過焦点



(b) 不足焦点



(c) 正焦点

図 1.3.14 酸化亜鉛結晶のテレビ電顕像

線が認められる。このような多数の干渉縞は試料照射角のきわめて小さい場合にのみ現われるもので、普通、像が暗くてけい光板上では従来まったく観察できなかった。

最後の図 1.3.16 はタバコ・モザイク・ウイルス（ネガティブ染色）の像である。このウイルスは外径約 150\AA 、内径約 40\AA の中空円筒状の構造を有していると考えられていたが、この写真はこれを立証するものである。この試料は従来写真撮影によって初めてその構造が判明したのであるが、このように直接肉眼で観察された例は初めてである。以上の写真例はすべて、このテレビ電子顕微鏡がすぐれた電子顕微鏡像の輝度増倍装置であることを示すものと考えられる。

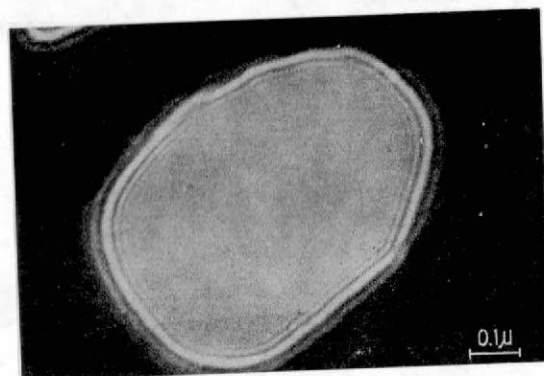


図 1.3.15 コロジオン膜孔の
テレビ電顕像

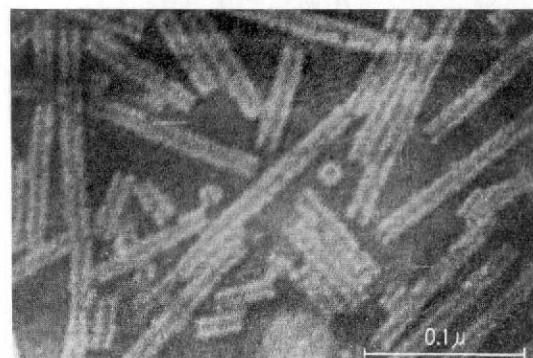


図 1.3.16 タバコモザイクウイルス
（ネガティブ染色）のテ
レビ電顕像

3.5 ま と め

電子顕微鏡の長年の要求であった直接観察手段の性能向上に関し、電子衝撃導電効果を利用して電子顕微鏡像の輝度増倍およびこれに伴う解像度の改善を行ない、これをテレビ映像化する装置—テレビ電子顕微鏡—の実験ならびに試作結果について述べた。この試作装置に用いた電子衝撃導電ターゲットの利得は1000倍以上に達し、 10^{-11} A/cm^2 程度の低電子流密度でビールスなどの微細構造を十分判別できることがあきらかになった。なおこの試作装置は実用化に適した構成を有しており、本研究後直ちに実用化され、世界最初の製品となっている。

今後の問題としては、電子衝撃導電機構の解明による感度、寿命などの諸特性の改善や大面積化、陰極の長寿命化を含む低速電子走査管の改良、解像力のきわめて高いテレビ装置の開発などであるが、これらはそれぞれの方面の理論、技術の進展に応じて開発が進められてゆくであろう。

第 3 章 の 参 考 文 献

- 1) L.Pensak:Phys.Rev.,75(1949)472-478
Conductivity Induced by Electron Bombardment in Thin Insulating Films.
- 2) F.Ansbacher,W.Ehrenberg:Proc.Phys.Soc.A64(1951)362-379
Electron Bombardment Conductivity of Dielectric Films.
- 3) W.E.Spear:Proc.Phys.Soc.,B69(1956)1139
Volume Generated Currents and Secondary Effects in Amorphous Selenium
- 4) レオナード, フランシス, ブロードウェイ(EMI):特許 昭27-5205
電子放電装置の改良
- 5) R.W.Decker,R.J.Schneeberger:IRE Nat.Conv Rec.,Vol5,pt3(1957)156-158
Image Tube Utilizing Bombardment Induced Conductivity
- 6) M.E.Haine,A.E.Ennos,P.A.Einstein:Jl.Sci.Instr.,35(1958)466-467
Image Intensifier for the Electron Microscope
- 7) M.E.Haine,P.A.Einstein:Proc.IEE.109B,No44(1962)185-195
Intensification of the Electron Microscope Image Using Cathode-Conductivity in Selenium.
- 8) 及川, 日比, 菰田:テレビ誌,18(1964)338-344,350 テレビ電子顕微鏡
- 9) M.Oikawa,T.Komoda,M.Hibi,T.Asai:Hitachi Rew,14(1965)45,9-13
Image Intensifier for Electron Microscope
- 10) P.K.Weimer,S.V.Forgue,R.R.Goodrich:RCA Rew,12(1951),306-313
The Vidicon-Photoconductive Camera Tube
- 10) 菅田:電子顕微鏡(2),118,オーム社(1955)

第 2 部 テレビ撮像装置の応用に関する研究

第 1 章 簡 易 形 カ ラ ー カ メ ラ

1.1 ま え が き

自然界が色彩を有する以上、テレビジョンもまた色彩をもつことが望まれるのは当然のことである。テレビ放送も一度カラーの実用化が開始されるや、急速な発展をとげ、今や我が国の家庭用カラー受像機の普及度は国民総世帯の50%を越すに至っている。この間のテレビの撮像、送信、中継、受像等の関連機器の著るしい技術的進歩は、受像機の価格の低減、性能向上と画像品質の向上をもたらし、かくも旺盛な需要を喚起したといえよう。

カラー放送の普及、発展が進むに依りて、その技術を放送以外の分野に使うことが考えられてくる。すなわち産業用、教育用、家庭用等のいわゆる閉回路テレビのカラー化が問題となる。また特に最近テレビ画像の記録用として、ビデオテープレコーダ(VTR)の開発が急速に進められており、家庭用カラーVTRが登場するに至っている。このような状況の下に、カラーカメラの需要は次第に高まりつつあり、特に簡易、安価、操作容易なカラーカメラの開発が期待されているのが現状である。

さて産業用、教育用、家庭用、更にテレビ電話用などを目指したカラーカメラは、放送用と異なり、閉回路テレビとして或る程度の自由度があるので、簡易化のための各種の方式が昔から提案され、研究開発されている。筆者も現在までに2種類の新しい方式のカラーカメラを提案し⁽¹⁾⁽²⁾⁽³⁾、研究試作を行なった。本章はこれら2種のカラーカメラ研究の結果⁽⁴⁾⁽⁵⁾⁽⁶⁾⁽⁷⁾⁽⁸⁾について、カラーカメラ方式の全般的検討を合わせて述べる。

1.2 カラーカメラ方式の検討

カラーカメラ方式、あるいはカラー撮像方式については、非常に多くの提案があり、それぞれ特色をもっているが、先ずこれらの系統的な分類と整理を行なってみる。

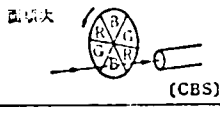
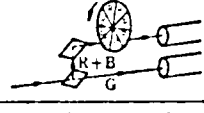
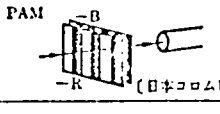
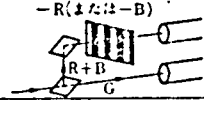
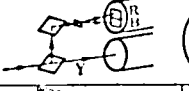
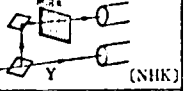
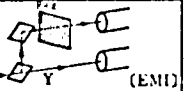
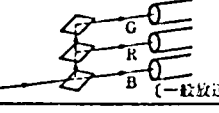
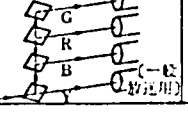
表2.1.1⁹⁾は三色光信号の与え方と、撮像管からの信号取出し方の二つの方法を基準として分類したもので、簡単な原理構成をも示してある。

表2.1.2は、前記諸方式の問題点、特長を示す¹⁰⁾。

表2.1.2に示した各種のカメラ方式について簡単に比較検討してみる。

(1)のCBS方式¹¹⁾⁽¹²⁾は回転フィルタを用いる面順次式で、簡明であり、現在でも携帯用カメラや特殊な用途、たとえばアポロ宇宙船等⁽¹⁴⁾で使用された例がある。しかし回転機構をもつ古典的なカメラとして、一般的なカラーカメラとはなり得ないと思われる。(2)の周波数分離方式は⁽¹⁵⁾⁽¹⁶⁾⁽¹⁷⁾⁽¹⁸⁾ストライプフィルタを用いて色分解、周波数分割を行なうもので、ストライプフィルタの製作が可能であれば、解像力の点を除いて簡易形一般カメラとしてはもっとも発展性が期待される形式である。筆者はこの方式の改善に関して研究を行ない、新しいカラーカメラを開発⁽⁷⁾した。これを1.4節で述べる。

表 2.1.1 カラー撮像方式

		信号形態		管形 (分離伝送方式)
		光信号	電気信号	
多重化方式	時分割多重	 (CBS)	面順次による時分割多重化信号	 (Ampex)
	周波数分割多重	 (日本コロムビア)	2搬送波による周波数分割多重化信号	 (日本コロムビア)
	空間分割多重	面分割	面順次による時分割多重化信号 (日立)	
			線順次による時分割多重化信号 (CTI)	 (東芝)
		点分割	点順次による時分割多重化信号	 (NHK)
並列方式				 (EMI)
		 (一般放送用)	連続した並列信号	 (一般放送用)

() 内は実地例

(8)の特殊面順次方式は、筆者が以前に研究発表した一つの提案¹⁾であり、面順次式だが回転機構がなく、CBS方式の一つの問題である残像による混色¹⁹⁾を避けた簡易カメラである。これは1.3節で述べる。

しかしこの方式はやはり標準方式への変換がCBS方式同様面倒であり、発展性という点では期待はもてない。(4)のCTI方式は、これも古典的なもので、ビジコン面への結像の問題、水平偏向の直線性の問題等実用には色々大きな障害がある。

(5)はCTI方式の上記実用上の問題をある程度解決した方式ではあるが、単管ではまだ無理があり、報告は2管式のものが発表²⁰⁾されている。

(6)は点順次方式で単管カメラとしてはもっとも理解しやすいが、実際は復調のためのインデックス信号が必要となり、3色と黒インデックスの4素子で1画素を構成することになるので、解像力の低下は避けられない。実用例では2管式で解像力を要する輝度信号は別の撮像管から得ている。2管を許容すれば有望な方式^{21) 22)}とも云える。

(7)は従来一般の3管カラーカメラで、高画質が得られるが複雑高価である。(8)はRCA社が発表したストライプフィルタを内蔵したカラービジコンを用いる方式^{23) 24)}で、一見理想的であるが、ビジコンの製作が難しい上、特性も余り期待できない。

以上のように、カラーカメラには多くの方式があり、それを更に変形した多くの形式があるが、簡易、高画質な理想的なもの、あるいは実用的にも決定版といえるものは未だない。

このような背景のもとで多くの研究開発の試みがなされているが、すでに述べたように筆者

表 2.1.2 カラーカメラ諸方式の特長一覧表

項 目 方 式		3 色情報の分離 と取出しの様式		撮 像 管 数	光 の 利 用 率	走 査 方 法	同時方式 (NTSC) への変換	色 の 再 現 性		偽 信 号	問 題 点
		光 学 系	走 査 系					大面積	小面積		
1	CBS方式	時分割 面配列	面順次	1	1/3	普通	2フィールド遅延	良	良	色われ	メモリ 色われ
2	周波数分離 (日本コロンビア)	周波数分割	同時	1	2/3	"	周波数分離	変調度ムラ	良	光学的ボカ シ必要	水平解像度
3	特殊面順次 (日立)	面配列	面順次	1	1	フィールド毎に垂 直偏向を垂直にシ フトする	2フィールド遅延	シェーディング の影響	レジストレーション	なし	メモリ レジストレーション
4	CTI方式	面配列	線順次	1	1	ライン毎に水平偏 向を水平にシフトす る	2ライン遅延	同上	レジストレーション 垂直解像度低下	なし	垂直解像度 レジストレーション
5	特殊線順次 (東芝)	面配列	線順次	1	1	ライン毎に垂直偏 向を垂直にシフトす る	2ライン遅延	良	同上	なし	同上
6	点順次 (NHK)	点配列	点順次	1	1/3	普通	サンプリング復調	良	水平解像度 低下	光学的ボカ シ必要	水平解像度
7	3 管 方 式	面配列	同時	3	1	"	不要	良	レジストレーション	なし	レジストレーション 高価
8	3色 ビジコン	点配列	同時	1	1/3	"	不要	良	水平解像度 低下	光学的ボカ シ必要	水平解像度 ビジコン

も若干の提案を行っており、その詳細を次項以下に述べる。

1.3 面順次式簡易カラーカメラ

1.3.1 原理

本方式の原理は、撮像管ビジコン一本を用い、その光導電面上にRGB三色の光学像を、図2.1.1に示すように、縦に並べて結像させこれを順次走査することによって、面順次の信号を取出す。受像側ではこれに同期して、カメラ垂直偏向の3倍の周波数で垂直偏向を行なう。そして各色信号に応じて三色受像管の各電子銃をゲートし、視覚による重ね合わせを行なうものである。図2.1.2は全体の原理系統図、図2.1.3はカメラおよびモニタの垂直偏向波形、図2.1.4はビデオ信号とゲート信号の関係を示す図である。

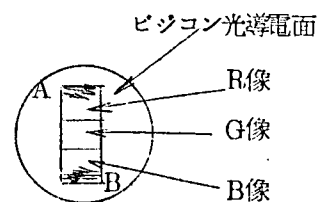


図2.1.1 ビジコン面への三色像の結像

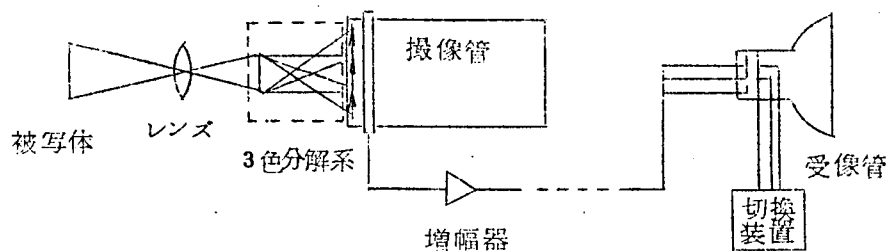


図2.1.2 原理系統図

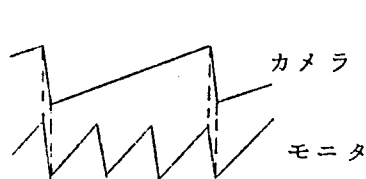


図2.1.3 垂直偏向波形

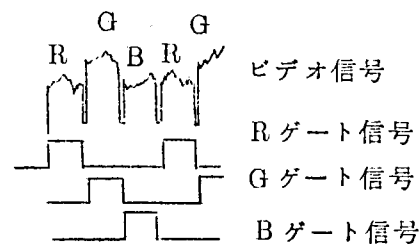


図2.1.4 ビデオ信号波形

この方式の特長は次の2点につきる。

(a) ストライプ・フィルタのような特殊部品がなく、構成が簡単で、かつ全電子的装置であること。

(b) 色再現は原理的に3管式の場合と同一で良好であること。

本方式を同じ単管のCBS方式と比べると、同程度の簡易な構成の上、回転機構がない。また回転フィルタで見られるCBS方式特有の色スプリアスが少ない。さらに一番重要な点は、ビジコンの残像による混色、色純度の低下がないことである。

産業用、教育用の用途に対し、上記特長は非常に重要な事項である。

欠点としては次のような事項がある。

(a) 面順次方式のため、同時方式やNTSC方式に変換するには記録装置が必要である。ま

た直接順次方式のまゝ表示すると、信号量が $\frac{1}{3}$ のため暗い画になる。

(b) 三色像をビジコン面上に相隣接して結像するために、三色分解光学系が若干複雑になる。

(c) 垂直偏向の直線性の良いことが三色像の重ね合わせに必要である。

この内、(a)はもっとも基本的問題点であるが、この場合、簡易性を最重点において諦めることにした。開発の時点では、簡易なフィールドメモリは存在してなかった。次に(b)、(c)については本方式固有の問題であるので、種々検討を加え対策を考案した。

1.3.2 カメラの方式と装置の設計

前節の提案原理にもとづくカラーカメラの設計について述べる。まず方式については、標準方式ではないので任意に走査規準をえらぶことができる。フリッカと走査線数、解像力の関係をバランスよく設定することが眼目となる。次にカメラ装置については、本方式の特色である三色分解光学系と垂直偏向系について重点的に述べる。

(1) 走査基準の設定

本方式はフィールド順次式に属し、特別のメモリを使用しないことを前提とするので、まず受像画面でフリッカが目立たないようなフィールド周波数を選定する必要がある。フリッカは使用ブラウン管の螢光体の残光特性とも関連するが、受像管として430B22を用いた結果、毎秒120フィールドにすれば一応目立たなくなることがわかり、これを選定した。この時カメラの垂直周波数は40Hzとなる。次に走査線数の選定については、水平偏向周波数を標準の15.75kHzから20.1kHzに上げ、ランダムインターレース形式で走査線数を各色335本と選んだ。この水平偏向周波数は市販のブラウン管偏向コイルと高圧発生用フライバックトランスを使用する場合の実用的限度であり、これ以上では高圧も低下し、能率が著るしく低下する。

なお走査線数が少ないので、見える走査線数をなるべく多くするため垂直帰線期間をできるだけ短かくするように努め、実験機では2%とした。

次にビジコンとしては1吋のH304を用い、走査面積として各色像当り縦5mm横6.5mmとし、全体で縦15mm、横6.7mm、対角線長にして16.4mmとした。この値は普通ビジコンの指定値である対角線長15mmに比して、若干大きいがビジコンのシェーディング特性のよいものを選択して使用すれば特に問題はない。

以上の方式諸元をまとめたのが、表2.1.3である。

表 2.1.3 本方式の走査基準

項 目	本方式	標準方式
カメラ垂直周波数	40 Hz	60 Hz
モニタ垂直周波数	120 Hz	60 Hz
水 平 周 波 数	20,100 Hz	15,750 Hz
インターレース	ランダム 2 = 1	ロックド 2 = 1
カメラ走査線数	1005 本	525 本
モニタ走査線数	335 本	525 本
帰 線 時 間	2 %	5 %
ビジコン走査面積	6.7mm×5mm×3	12mm×9mm
対 角 線 長	16.4 mm	15.0 mm

(2) 三色分解光学系

本方式のカメラに用いる三色分解光学系は、単一撮像管を使用する関係上、従来の3管式カメラのそれとはかなり異なったものになる。そこでこゝで要求される項目を考えてみると次のようになる。

- (a) 三色像が一時ビシコン上に垂直方向に並んで投影されること。
- (b) 寸法や幾何学的形状は歪部分までも三色同一であること。
- (c) 解像力は少なくとも一般家庭用テレビと同等以上あること。
- (d) 16mmシネカメラ用レンズが対物レンズとして交換使用可能なこと。
- (e) 色特性が出来る限り良好なこと。
- (f) 産業用簡易カメラであるから、簡単で軽く安価であること。

これらの諸要求は相反事項も多く、どう満足させるかが問題である。筆者は検討の末、同一レンズ3枚を結合した図2.1.5のような特殊な複合リレーレンズをつくり、これを用いて図2.1.6のような三色分解光学系を構成することにした。複合リレーレンズは、図からわかるように同一集点距離の同一レンズ3枚を加工し、光軸が平行かつ等間隔になるよう組上げたもので、色分解用のフィルタをそれぞれ付着せしめている。フィルタはゼラチンフィルタを用い、赤はWratten 23A、緑はWratten 57、青は富士写真フィルム製のものをを用いた。またゼラチンフィルタは赤外線を透過し、偽りの色信号を与える恐れがあるので全体に赤外遮断フィルタ（東芝1RQ-80）を用いた。

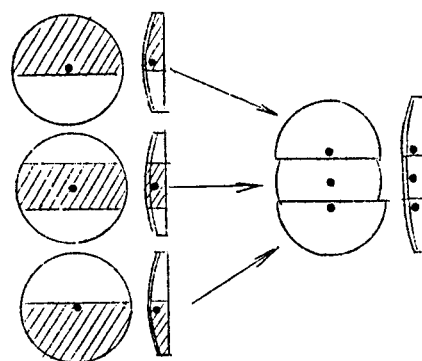


図2.1.5 複合リレーレンズ

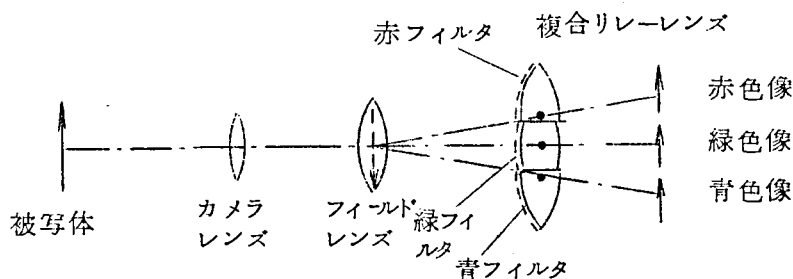


図2.1.6 三色分解系

(3) カメラの垂直偏向

カメラの垂直偏向の直線性が十分良好でないと、本方式の場合三色像の重ね合わせがうまくできない。たとえば垂直偏向の直線性は、走査線1本分のずれを許容するとして、0.3%のずれに相当するがこの実現は難しい。この問題を解決するため、図2.1.7のような垂直偏向回路を考案した。すなわち三色像それぞれに対して振幅と位置が個別に調整できるようなのこぎり波をつくり、偏向の直線性の改善はもとより、光学系の組立誤差をも補正できるようにした。

図2.1.8は上記の事項を説明するための偏向コイルの電流波形図である。図の(A)は、一般ののこぎり波信号発生器から得られるのこぎり波で指数関数的な曲線を示している。

点線が理想的な直線偏向を示す波形である。(B)は、(A)の3倍の周波数をもつ振幅1/3ののこぎり波である。(C)、(D)、(E)はそれぞれ赤、緑、青のゲート信号、(F)、(G)、(H)は(C)、(D)、(E)の積分によって得られるのこぎり波、(I)は(E)に(C)の極性反転したものを加えて成形された波形、(J)は最終的なもので、(B)と(I)から合成される。(J)の示す偏向電流波形にあるビップは、帰線期間に当るので、映像に影響を与えることはない。(F)、(G)、(H)が完全に直線的でなくても、同一形状をしていればたとえ重ね合わせ像に全体的ゆがみは生じて、重ね合わせ自体は間違いない。事実これは大変有効な回路構成であった。

1.3.3 試作結果

本方式のカラーカメラを、前述の三色分解光学系や偏向回路を用いて試作を行なった。試作に当って普通の白黒テレビカメラに比して特に注意を払った点は、次のようなものである。

(a) 高感度ビジコンとして市販品の2倍の感度をもつH8304を用いた。この結果、被写体照度1.000lx以上でカラー撮像が可能となった。

(b) ビジコンの高電圧集束を行ない、解像力向上を計った。

(c) 増幅器の周波数帯域を6MHzまで平坦とした。(b)、(c)の結果、水平解像力は約280本が得られた。

(d) シェーディングによる色ずれを防ぐため、ビジコンの選択の他、陰極変調によるバラボラ補正を行ない効果が大きかった。

(e) 産業用簡易カメラの原形として、極力小形化に努めた。

図2.1.9は試作装置の外観であり、図2.1.10は、撮像結果を示すモニタ像の一例である。

なお問題点、欠点としては一部を原理の項で述べたが、(a)暗い、(b)垂直解像力が低い、(c)偏向歪による三色像の重ね合わせが不完全である。特に周辺部はS形偏向歪により補正不可能である。等が指摘された。しかし(a)、(b)のようなある程度本質的な欠陥を除けば、色の再現性は良好であり、簡易形実用機として十分の性能が得られたものと考えられる。

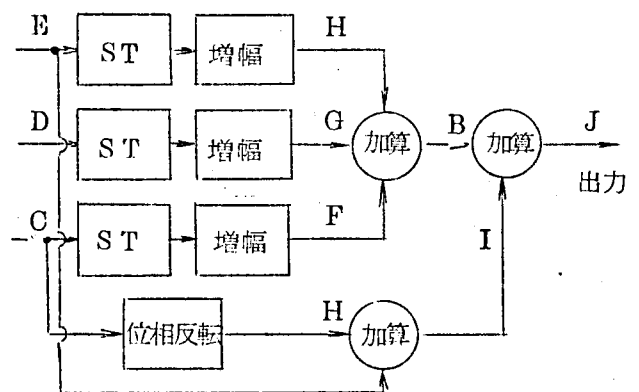


図 2.1.7 系統図
(ST=のこぎり波発生回路)

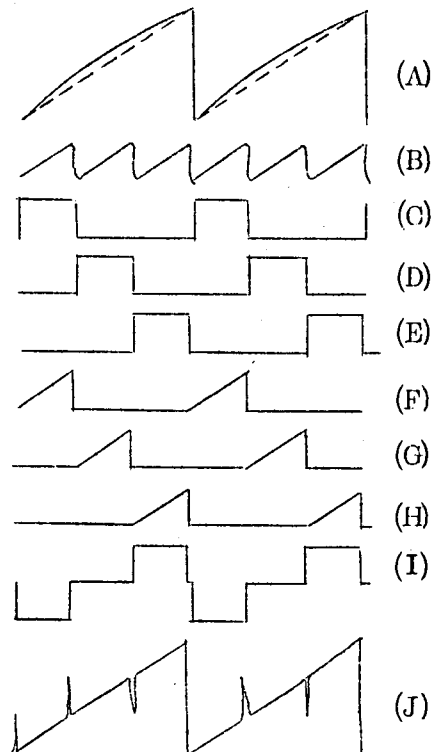


図 2.1.8 垂直偏向電流波形



図 2.1.9 試作カメラ装置

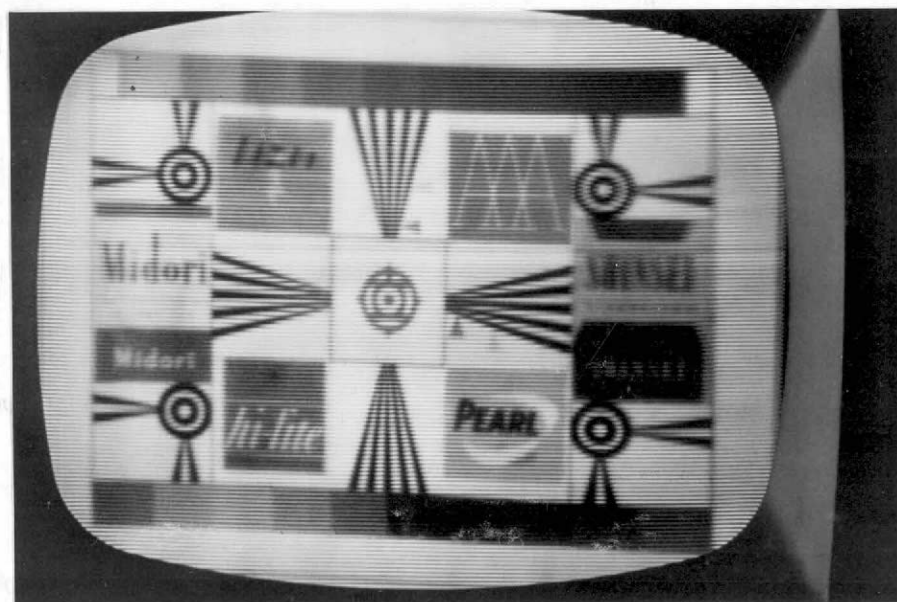


図 2.1.10 撮像例

1.4 周波数分離形高解像度カメラ

1.4.1 原理

(1) 一般周波数分離形カメラの原理

筆者提案のカメラ方式を述べるに先立ち、その原形である一般の周波数分離形カメラの原理を述べる。この周波数分離形カメラでは、図 2.1.11 のように透明とシアン（赤反射）、透明と黄色（青反射）が、それぞれ等幅でストライプ状に周期的に配列された 2 枚のフィルタを用いて、被写体からの光を分解し撮像管に与える。この場合光の G 成分は両フィルタによって何等の影響も受けないが、R、B 成分はそれぞれ周期的に阻止され、その周期 T_R 、 T_B が異なると撮像管から得られる信号 $S(t)$ は式 (2.1.1) のようになる。

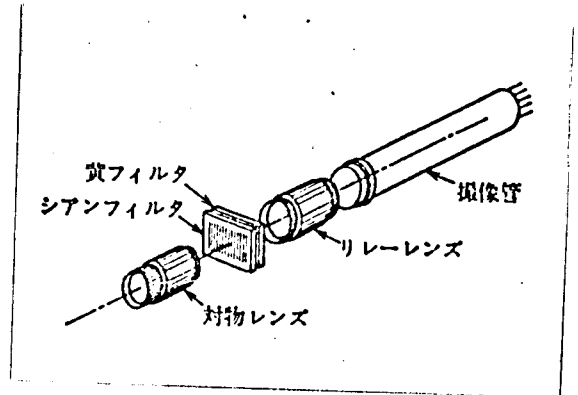


図 2.1.11 単一撮像管周波数分離式カラーカメラ光学系の例

$$S(t) = G + R \left\{ \frac{1}{2} + \sum_{n=1}^{\infty} K_n \cos n(\omega_R t + \varphi_R) \right\} + B \left\{ \frac{1}{2} + \sum_{n=1}^{\infty} K_n \cos n(\omega_B t + \varphi_B) \right\} \quad (2.1.1)$$

$$\text{ここで } K_n = \sin \frac{n\pi}{2} / \frac{n\pi}{2}, \quad \omega_R = 2\pi/T_R, \quad \omega_B = 2\pi/T_B$$

φ_R, φ_B : ストライプの絶対位置で表せる位相定数

T_R, T_B : ストライプの 1 ピッチを走査するに要する時間

$S(t)$ 信号は G 成分（広帯域）と、異なる周波数でパルス振幅変調された R、B 成分が周波数多重されたもので、その周波数スペクトルは図 2.1.12 のようになる。すなわち低周波部には、 $G + \frac{1}{2}R + \frac{1}{2}B$ の信号が、 ω_R, ω_B の周辺部には搬送波抑圧 AM された R、B 成分の側帯波がある。なお撮像管のレスポンスが有限のため、式 (2.1.1) の n は通常は $n=1$ のみを考えればよい。さて周波数多重化された信号は、図 2.1.13 に示す復調回路の低域フィルタによって周波数分離され、所要の R、G、B 三色信号に分離される。

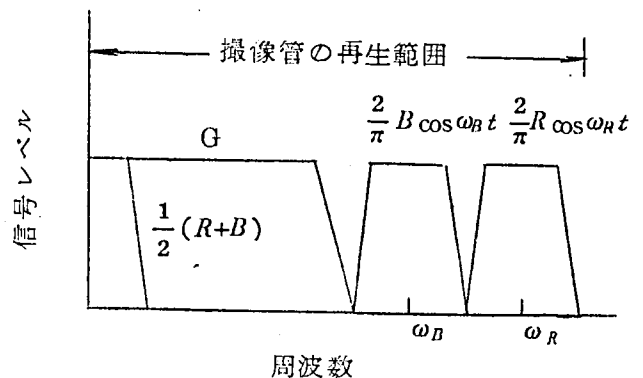


図 2.1.12 ビデオ信号スペクトラム

この方式の特長は、

- (a) 単一撮像管で簡単である上、同時式であり標準方式を採用できること。
- (b) 光の利用率が高い。

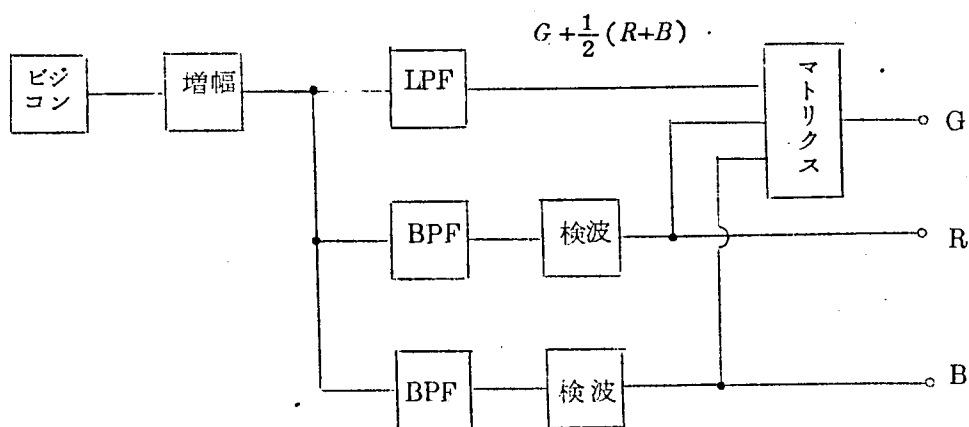


図 2.1.13 周波数分離カメラの復調回路

欠点としては

- (a) ストライプフィルタ等の光学系の製作が難しい。
- (b) 三管式に比し、色と解像力が悪い。特に後者は図 2.1.12 のスペクトルからも分かるように、使用帯域に比して解像力をきめる G 成分の占める帯域が小さいことに基因するもので、実用上最大の欠点と考えられる。

(2) 相関分離形高解像度カメラの原理

上記一般の周波数分離形カメラの欠点である解像度の改善を目的として提案した、画像の垂直相関性を利用し、演算回路によって色信号を分離する新しい高解像度周波数分離カラーカメラの原理について述べる。

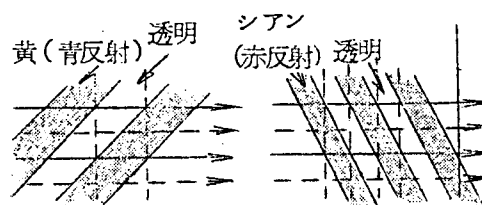
この方式も従来方式と同様にピッチの異なる透明と黄、透明とシアンの二種のストライプフィルタを使用する。しかし図 2.1.14 のように、画像の垂直方向に対して、走査線ごとに位相が π だけ変化するような角度で、傾斜しているのが特長である。

この場合ビジコンから得られる信号 $S(t)$ は、式 (2.1.1) と同様に与えられる。

$$S(t) = G + \frac{1}{2}(R+B) + \frac{2}{\pi}R \cos(\omega_R t + \varphi_R) + \frac{2}{\pi}B \cos(\omega_B t + \varphi_B) \quad (2.1.2)$$

ここで一水平走査周期 h の遅延線を用いて、時間 h だけ前の信号 $S(t-h)$ を取出してみると、ストライプフィルタの位相が ω_R 、 ω_B についてそれぞれ π だけずれているため次式のようにになる。

$$\begin{aligned} S(t-h) &= G_h + \frac{1}{2}(R_h + B_h) + \frac{2}{\pi}R_h \cos(\omega_R t + \varphi_R - \pi) + \frac{2}{\pi}B_h \cos(\omega_B t + \varphi_B - \pi) \\ &= G_h + \frac{1}{2}(R_h + B_h) - \frac{2}{\pi}R_h \cos(\omega_R t + \varphi_R) \\ &\quad - \frac{2}{\pi}B_h \cos(\omega_B t + \varphi_B) \end{aligned} \quad (2.1.3)$$



矢印 走査線 (実線第1フィールド, 点線第2フィールド)

図 2.1.14 周波数分離形ストライプフィルタ

なお G_h, R_h, B_h は一走査線分だけ異なった被写体部分からの各信号成分を示す。

今、画像の垂直相関性を期待し、2 走査線間の相関が大きく次の関係が成立つものとする。

$$G \simeq G_h \quad R \simeq R_h \quad B \simeq B_h \quad (2.1.4)$$

この場合、 $S(t)$ と $S(t-h)$ の和および差を求めると次のようになる。

$$S(t) + S(t-h) = 2G + R + B \quad (2.1.5)$$

$$S(t) - S(t-h) = \frac{4}{\pi} R \cos(\omega_R t + \varphi_R) + \frac{4}{\pi} B \cos(\omega_B t + \varphi_B) \quad (2.1.6)$$

すなわち図 2.1.15 のような処理をすれば、2 走査線間の和には搬送波成分を除去した $G + \frac{1}{2}(R+B)$ 成分が、差には R, B の搬送波成分が得られる。その後の分離復調の過程は従来方式と同様であり、帯域フィルターで 2 つの搬送波成分を分離したのち、包絡線検波して R, B 信号を得、さらにマトリクスより G を得る。このとき、 $S(t)$ より搬送波の除去に従来のように低域フィルターを用いないため、得られる G 信号の解像度を制限するものはない。したがって、多重化された撮像管出力の周波数スペクトラムを図 2.1.16 のようにし、 G 信号を撮像管自身の解像度と等しくすることが可能である。

以上本方式は、帯域共有による輝度信号の高解像力化に大きな特長があり、さらに 2 走査線間の和、差をとるため白色雑音に対して理論的に S/N 3 dB の改善が得られる。

一方問題点としては、

(a) 信号の分離が垂直相関に頼っている。このため垂直相関のない一走査線毎の市松模様や傾斜の大きい輪かくなどでは、 R, B 成分に G 成分が混入する。しかし普通の画像では上記のような場合はきわめて少ないし、光信号の段階で垂直方向だけ故意に帯域制限することも可能である。

(b) 輝度信号の垂直解像度が $1/2$ になる。これは和差演算が高域にある変調色成分の分離を目的としていることから、高域のみの演算を行ない、高域成分のみの相関をとれば、輝度信号の低域成分については垂直解像度の劣化はない。このような復調方式をとり、垂直解像度の劣化を高域成分にのみ押えることは容易である。

(c) 一水平走査時間遅延線が必要である。これはガラス媒体の超音波遅延線で各種のものが市販されているし、また (b) のような狭帯域信号の遅延はさらに安価なものが入手可能であり、

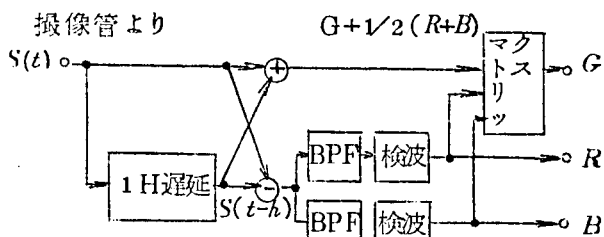


図 2.1.15 相関分離形カラーカメラ復調回路

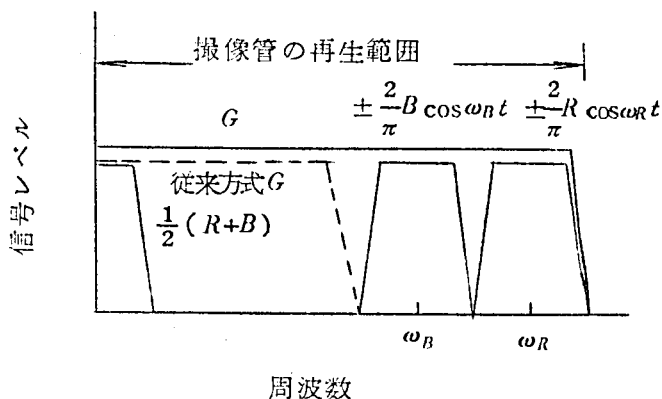


図 2.1.16 相関分離形カメラのビデオ信号のスペクトラム

特に問題はない。

1.4.2 カメラの方式とカラープロセッサの設計

新カラーカメラの方式は、テレビ標準方式そのまゝを用い、走査線数 525 本、毎秒像数 30 枚、2 = 1 インターレースとした。カラー信号の帯域幅は 500 kHz とし、R, B の搬送周波数は種々選択できるけれども使用する 1 吋ビジコンの解像力、変調度特性の点から、現在は B を 3MHz, R を 4MHz に選んでいる。

次に実際のカメラ方式としては、図 2.1.5 で示した R, G, B 三出力以外に、式 (2.1.5) で与えられる信号を輝度信号 Y に用い、いわゆる分離輝度方式を採用した。

$$Y = 0.25R + 0.50G + 0.25B \quad (2.1.7)$$

参考までに NTSC 方式の輝度信号 Y_N は次のごとくである。

$$Y_N = 0.30R + 0.59G + 0.11B \quad (2.1.8)$$

両式の差は彩度歪となるが、色相歪に比して影響は少なく、S/N 改善の点から分離輝度方式が有利である。この場合、G 成分は輝度信号とは無関係となるので高域成分は不要であり、R, B と同一の低い帯域にする方がよい。

以上を基本設計とするカラーカメラの全体系統図を図 2.1.17 に示す。

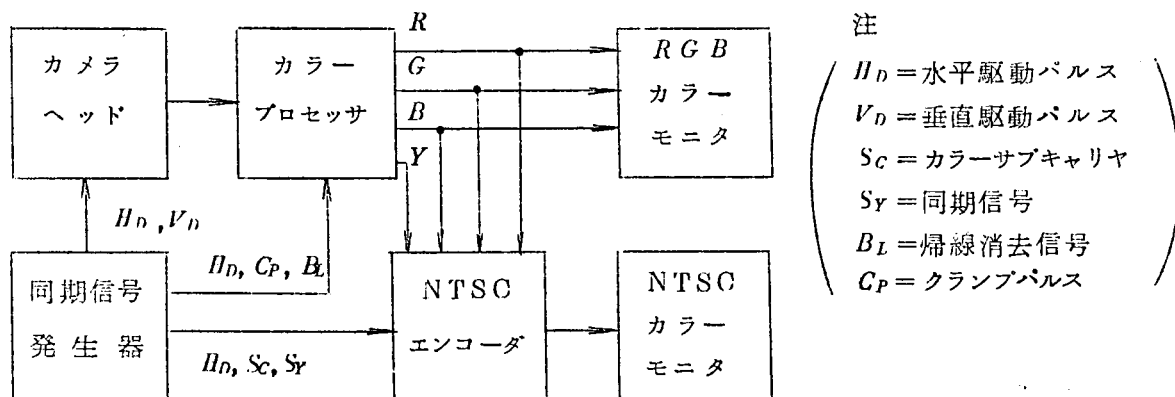


図 2.1.17 カラーカメラシステム全体系統図

本カメラシステムの内重要なのは、カメラの特にストライプフィルタとビジコンを中心とした信号発生系と、多重信号の復調を行なうカラープロセッサ系である。前者は次項で述べることとし、カラープロセッサについて述べる。先ずその系統図を図 2.1.18 に示す。

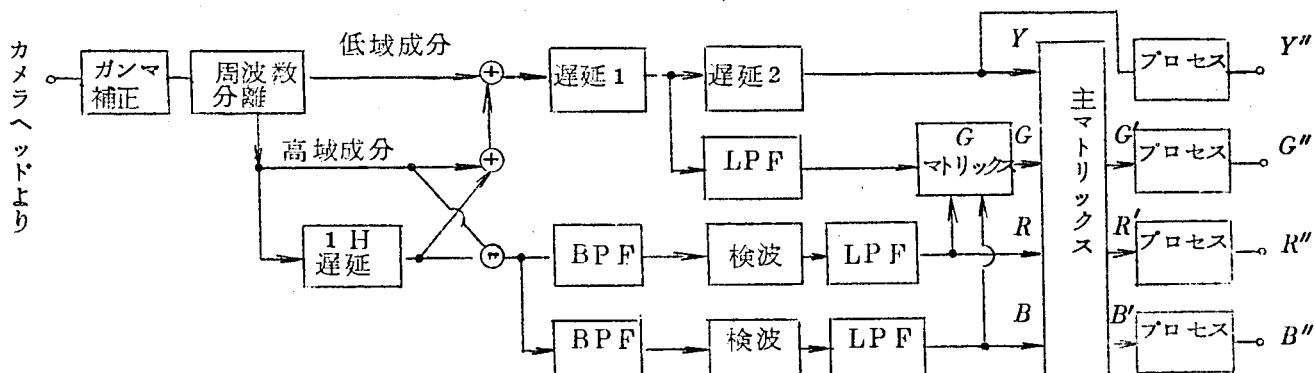


図 2.1.18 カラープロセッサ系統図

この回路の動作を簡単に説明すると、先ずカメラからの信号をガンマが1になるようガンマ補正する。ビジコンのガンマ特性はほぼ0.65であるので、もしそのまま信号処理すると、二つの搬送波のビート成分がGおよびY成分に混入したり、変調R, B成分の振幅がG成分の振幅で影響を受ける等の不都合を生ずる。

次に周波数分離部で高域と低域の成分に分離される。その遮断周波数はR, B成分の側帯波成分の最低周波数と一致させることになるが、実験の例では搬送周波数3MHz, 色信号0.5MHzであるので2.5MHzとした。

分離された高域成分は、それと一水平周期の時間遅延したものと和、差をとり和は低域成分と加えてY信号になし、差は二つの帯域フィルタで分離、包絡線検波の後低域フィルタで帯域制限されてR, B信号となる。なおY信号の一部は低域フィルタでR, Bと同一帯域に制限された後、GマトリクスでR, B成分をさしひかれG信号となる。なお遅延線1は帯域フィルタの、遅延線2は低域フィルタの遅延時間を補償しR, G, B, Y各信号の時間をそろえる。

この後、低解像度R, G, Bと高解像度Y信号は主マトリクスで、高解像度R', G', B'信号に変換される。これはRGB駆動のカラーモニタやエンコーダを接続する場合に必要となる。

最後の各プロセッサは、黒レベルを揃えた後、受像管の逆特性であるガンマ1/2.2を与える回路である。以上で得られたY'', R'', G'', B''出力は適当なモニタ装置へ接続される。

上記プロセッサの構成について、実際の設計上特に注意した回路について述べる。第一は周波数分離回路で、普通考えられるようにLPFとHPFで分離すると、しや断周波数近傍の振幅、位相特性の歪のため再合成の時、原信号との間に歪が発生する。そこで実験ではLPFによって低域成分を分離した後、これと原信号の差をとって高域成分とすることにした。

第二は検波回路で、色成分の変調信号は変調度100%に相当するため、低レベルまで忠実に検波しなければならない。このため普通のダイオード検波では整流特性の歪が無視できるように入力レベルを大きくする必要がある。この問題には負荷に同じダイオードを直列に挿入し、整流部の逆特性を与える方法²⁹⁾が用いられた。

第三はマトリクス回路で二つの方式がある。その一つはR, G, BにYの高域成分 Y_H を等量ずつ加えるもので、式(2.1.9)のようになる。この場合、大面積の色はR, G, Bにより、りんかくは無彩色の Y_H で与えられる。

$$R' = R + Y_H, B' = B + Y_H, G' = G + Y_H \quad (2.1.9)$$

本カメラのように、色ノイズ N_R, N_B, N_G が輝度ノイズ N_Y に比して大なるときは R', B', G' により再現される輝度 Y' のノイズ $N_{Y''}$ は、もし $N_R = N_B = N_G = N_C$ とすれば

$$N_{Y''} = \sqrt{(0.30 N_R)^2 + (0.59 N_G)^2 + (0.11 N_B)^2} = 0.75 N_C \quad (2.1.10)$$

式(2.1.10)で与えられ、各色信号のS/Nより約2.5dBの改善が期待できる。

他の一つの方法はR, B, Gを色差信号に変換した後、Yを加えるもので

$$R' = (R - Y') + Y, B' = (B - Y') + Y, G' = (G - Y') + Y \quad (2.1.11)$$

$$\text{たゞし } Y' = 0.30 R + 0.59 G + 0.11 B \quad (2.1.12)$$

この場合、りんかくは Y_H で与えられるが、色は $(Y_L - Y')$ の分だけ誤差を生ずる。一方色差信号中の雑音は定輝度原理によって輝度 Y'' には影響を与えないから、次のごとくなりS/Nは劣化しない。

は劣化しない。

$$N_Y'' = N_Y$$

(2.1.13)

実験では、 Y_H 分離用の H P F の設計や遅延補償の問題をも考慮し、後者の方法を選んだ。

1.4.3 三色分解光学系の設計と製作

(1) 全体構成

光学系の基本構成として図 2.1.19 のように、大略 3 種類の方法が考えられる。

(a) は普通に用いられる形式で、撮影レンズやストライプフィルタの大きさも或る程度自由に選べるし、撮像管も普通のものでよい。反面、光路長が長くなりカメラヘッドが大形となる。たとえば筆者の実験ではリレーレンズとして接写用のマイクロニッコール (55 mm, F 3.5) をリレー比 1 : 1 で用いたが、この場合ビジコン面から撮影レンズの坐金までの最短光路長は 255 mm となる。

次にリレーレンズ系を用いるため、光量損が大きい。このためストライプ・フィルタの前後にフィールドレンズを入れることが望ましい。しかしこの場合、撮影レンズと一体の設計が必要で、撮影レンズの交換は困難である。その他絞り調整の問題もある。

以上のリレーレンズ形式に対し、図(b)、(c)に示すようにフィルタとビジコン光電面を光学的に密着させる形式がある。

(b) は 2 種類のストライプフィルタを一枚の基板上に重ねてつくり、オプティカルファイバの面板をもつ特殊ビジコンと外部で密着せしめる方法であり、(c) はストライプフィルタ上に直接光導電面を形成せしめる内蔵形である。

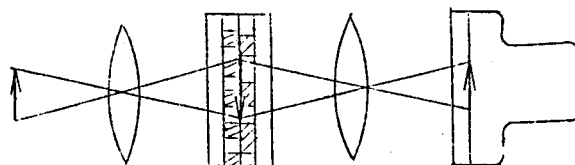
(b)、(c)、いずれの方式もリレーレンズが不用でカメラは小形になる上、撮影レンズの交換が自由で光量損も少ない利点がある。

問題点はストライプフィルタの製作が難しいことと、ビジコン製作に高度の技術が必要となることである。(b)、(c)を比較すると(b)は中間形態であり、製作歩止りの点で有利であるがオプティカルファイバ面板の透過率だけ感度を損なう。

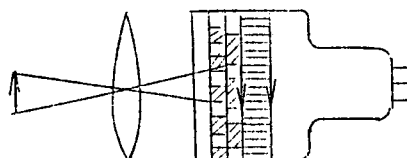
(2) ストライプ・フィルタの設計と製作

(a) ストライプ・フィルタの設計

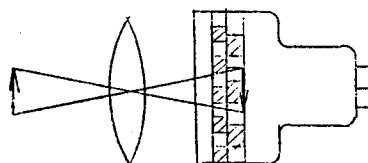
本方式で用いるストライプフィルタは図 2.1.14 で示したように、走査によって所要の周波数を発生し、かつ一走査線毎にその位相を反転しなければならない。この条件を満たすフィル



(a) リレーレンズ中継形



(b) オプティカルファイバ中継形



(c) 撮像管内蔵形

図 2.1.19 光学系の形式

タのストライプ幅を W_s ，走査線とストライプのなす角度を θ_s とすると，日本標準方式に対して次式が与えられる。

$$\theta_s = \tan^{-1} \left(\frac{63.5 x f}{175 y} \right) \quad (2.1.14)$$

$$W_s = \frac{H}{2\sqrt{(63.5 x f)^2 + (175 y)^2}} \quad (2.1.15)$$

ただし H = 走査範囲の横幅
 f = 搬送周波数 (MHz)
 y = 垂直有効走査率
 x = 水平有効走査率

今， $H = 12\text{ mm}$ ， $y = 0.96$ ， $x = 0.83$ として， W_s ， θ_s の計算値を表2.1.4に示す。 f としては，撮像管の変調度，アンプ雑音等できまる S/N の点から低い方がよいが，一方垂直相関をとる成分を少なくするためには高い方がよく，両者の妥協点から最適値を見出すことになる。こゝでは一応 $f_B = 3.0\text{ MHz}$ ， $f_R = 4.0\text{ MHz}$ に選んだ。

表 2.1.4 搬送周波数とストライプ幅，傾斜角

搬送周波数 f (MHz)	W_s (μ)	θ_s ($^\circ$)
2	30.	35
3	26.	44
4	23	52
5	19.	58

次にストライプフィルタの分光特性について述べる。

カラーカメラの分解光学系の最適分光特性は，NTSC方式の理想撮像特性が与えられているから，撮像管の特性を指定すれば自動的に決定される。3管式カメラでは，ダイクロイックミラー又はプリズムによって三色を大まかに分離した上，各成分ごとに補正フィルタを用いて理想的特性に近いものを得ているが，この単管式カメラでは赤反射，青反射フィルタおよび全体共通の補正フィルタが使えるのみで個々の補正フィルタが使用できず，ある程度の近似特性でがまんせざるを得ない。

実験では，図2.1.20の分光特性のフィルタを用いた。図2.1.21はビジコン8134の分光特性（カタログ値）から計算した撮像特性を理想特性と対比して示したものである。青，赤成分が理想特性とかなりずれているが，その方向へずらすと今度は青，赤の光量が減少し， S/N の低下や緑成分の変化をもたらすので，必ずしもよい結果は得られない。事実この程度のフィルタ特性の差は，画質や再現色にほとんど影響を与えずむしろ回路的調整や補正の方が効果は大きい。

(b) ストライプ・フィルタの製作

所要の分光特性をもつフィルタとしては，光量損が少なく任意の特性が容易に得られるという点で干渉フィルタが一般に用いられる。干渉フィルタはガラス基板上に CeO_2 ， MgF_2 ， ZnS 等の金属多層膜の蒸着により作成されるが，これは国内メーカーより容易に入手可能である。

問題は数 μ 幅の微細なストライプ構造のつくり方である。一様な干渉フィルタを機械的にけずりとる方法は適当な機械がなく，フォトリソグラフィで俗かす方法は干渉フィルタを俗かす

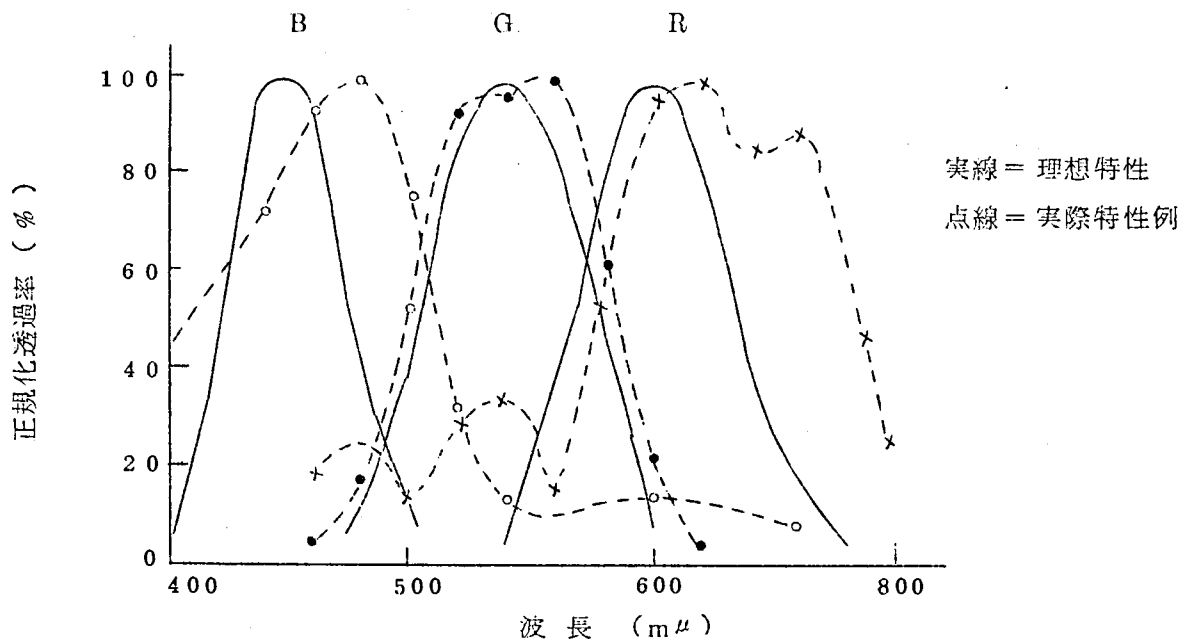


図 2.1.12 撮像特性

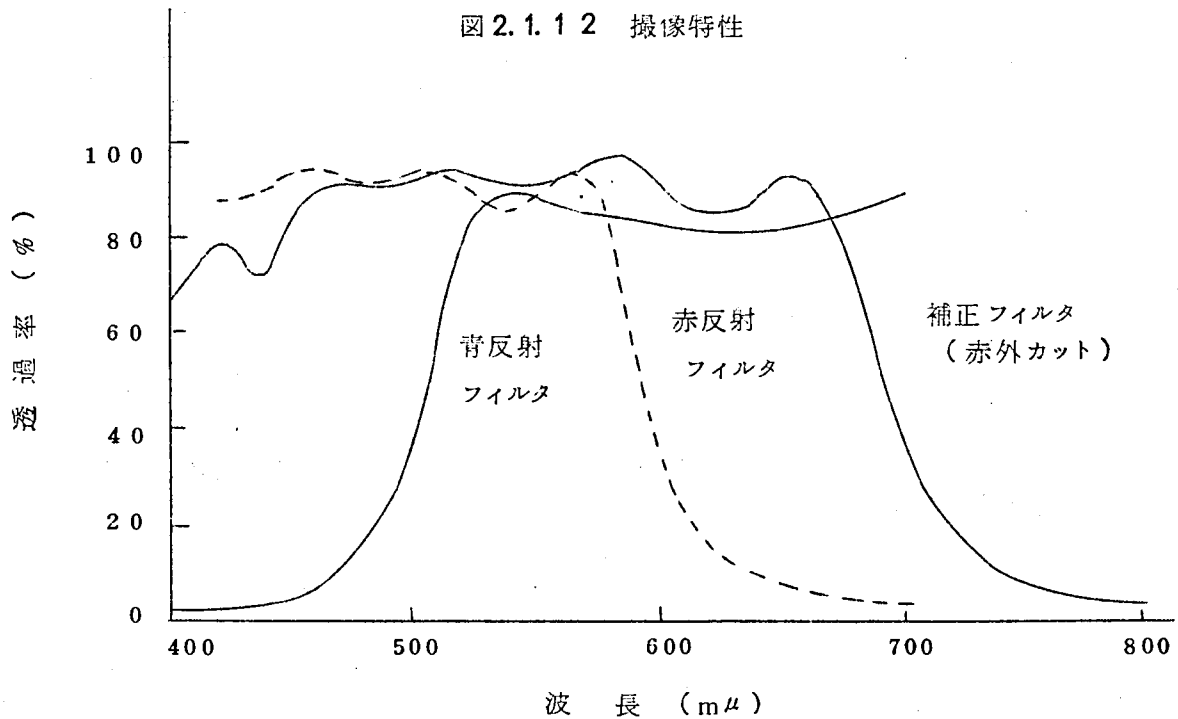


図 2.1.20 フィルタの分光特性

適当なエッチング液がなく、また溶解可能な熱強酸に対してホトレジストが耐えられないので現状では使用できない。次にストライプ状の蒸着マスクを用いて直接ストライプ状の干渉膜をつくる方法は、ストライプマスクの製作が難しく、強度その他に問題があり困難であることがわかった。筆者が最後に採用して成功したのはフォトエッチングによって基板上に適当な金属、たとえばAlのストライプをまずつくり、その上に干渉フィルタを蒸着し、その後先のAlストライプを溶解し同時にAl上の干渉膜も除去する方法で、結果としてAlのない基板部分に付着した干渉膜のストライプ構造を得る方法である。これはある程度厚い(3~5μ)Alストライプをきれいにフォトエッチすることがこつであるが、技術条件が一度きまると比較的歩止りよ

く作成し得る。

二層フィルタの製作は、上記工程を二度繰返せばよい。参考までにストライプフィルタの工程説明図を図 2.1.2 2 に示す。二つのストライプに一定の交叉角をもたせるため、2 枚のパターンマスクの限にそれぞれ位置合わせ用のマークを付しておく必要がある。

なお二層フィルタとしては、青反射フィルタを先に作り、その上に赤反射フィルタをつくった。これは青反射フィルタの方が厚みが薄く凹凸が少ないことと搬送周波数が低く、ピッチが粗いため交叉点の数が少ないことのために、二層目の Al ストライプをつくるのがこの逆の場合より有利だからである。図

2.1.2 3 は二層ストライプフィルタの顕微鏡写真である。微細に観察するとストライプの縁は数 μ の凹凸をもっているが、ビジコンはストライプの基本波成分しか発生しないので、画質にはほとんど影響しない。

1. 4. 4 ビジコンの検討

本方式はビジコンから多重化信号を取出すため、その特性がカメラ全体性能を大きく左右する。ビジコンの特性としては、感度、残像、キズ等が優れているという一般的要求の他に、本方式に特有な要求事項として次のようなものがある。

(a) 変調度が大きいこと

R, B 信号の S/N は、搬送周波数領域での変調度がそのまゝ影響する。

(b) 変調度および感度が画面内で均一なこと

変調度は R, B 信号出力に、直流的感度は G 信号の出力に影響するので、これらが均一でないと色シェーディングを生ずる。

以上の 2 項は普通は解像度特性として議論される。この解像度特性はビジコンの大きさや集

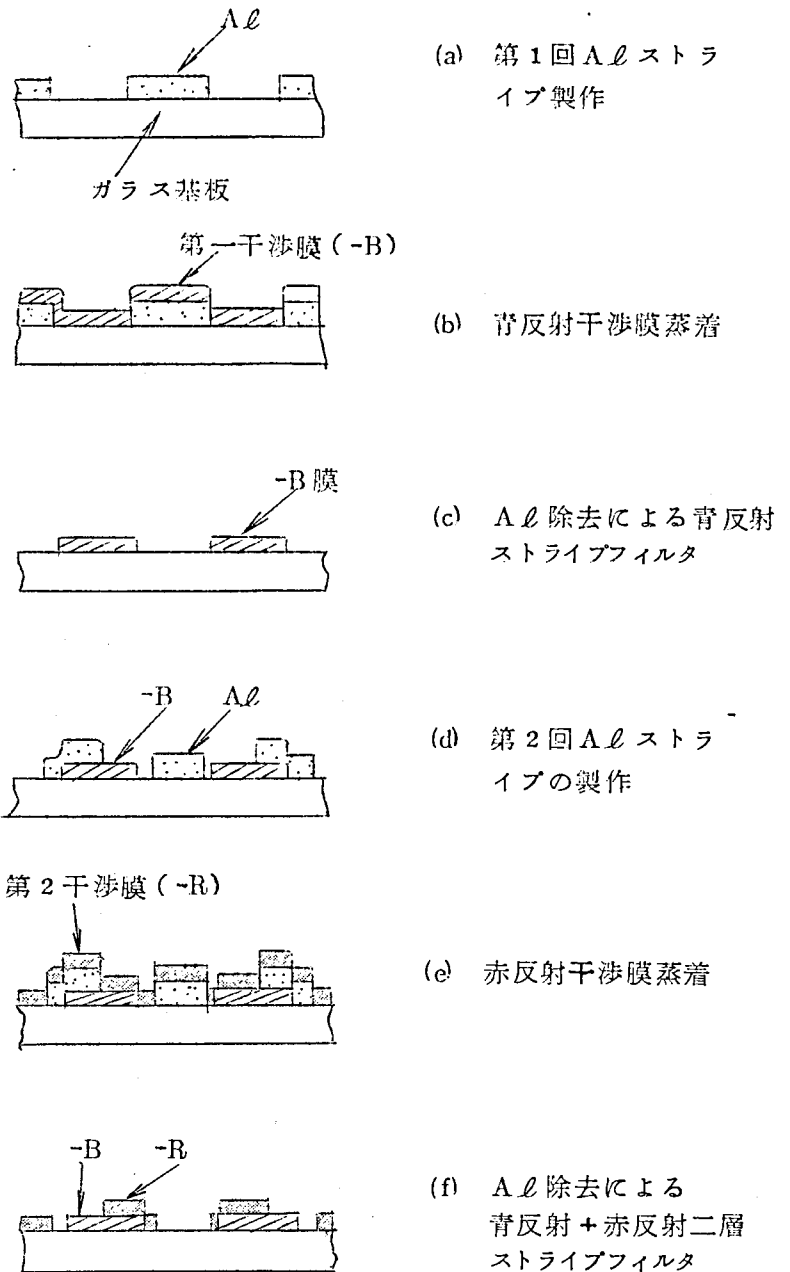


図 2.1.2 2 二層ストライプフィルタの製作工程

束方式でかなり相違が生じ、たとえば電磁集束形、静電集束形、静電電磁複合集束形（いずれも電磁偏向形式）ではそれぞれ表 2.1.5 のような特色がある。上記事項を考慮して筆者は実験カメラ用として 1 吋ビジコン 8 1 3 4 を選び、複合集束形で動作せしめることとした。なお 1.5 吋管は特性的には望ましいが、カメラの小形化の点で採用しなかった。

8 1 3 4 を用いて実験を行なった結果、次のような項目が要求されることが分った。

(c) メッシュ像が出ないこと。

静電集束ビジコンは焦点深度が大きいので、光電面に焦点を合わせてもメッシュの像が出やすい。メッシュ像が出ると、ストライプ

像ときわめて類似しているので普通の使い方では問題がなくても、この場合は偽信号として復調される。

(d) ビームの形状歪が少ないこと。

一般にビーム形状は円でなくだ円形に歪んでいて、絵柄の方向によって解像度が異なる。二つのストライプは異った方向を向いているのでこの歪が大きいと、一方のストライプに焦点を合わせると他方のストライプには合わなくなり、変調度に著しい差を生ずる。表 2.1.6 はストライプパターンによる変調度の差を示す一実験例である。

(i) は垂直の白黒ストライプパターンに対するもの。(ii) は本方式のストライプ形状、すなわち走査線毎の位相反転する幅と角度をもつ白黒ストライプパターンに対するもので、それぞれストライプの周波数を変えた時の変調度を示す。

(iii) は本方式の斜めストライプに対する(iii)の値を、(i)垂直ストライプの 2 MHz の時の値を基準として正規化したものであり、(i)、(iii)からビジコンのビーム形状がいかに大きく変調度に影響するかが分かる。

(e) 変調度が信号レベルに依存しないこと。

入力光に対する直流出力のガンマと、変調成分のガンマが異なる場合が経験された。このような場合は、復調信号間のガンマが異なるので信号レベルによって色バランスがくずれる。

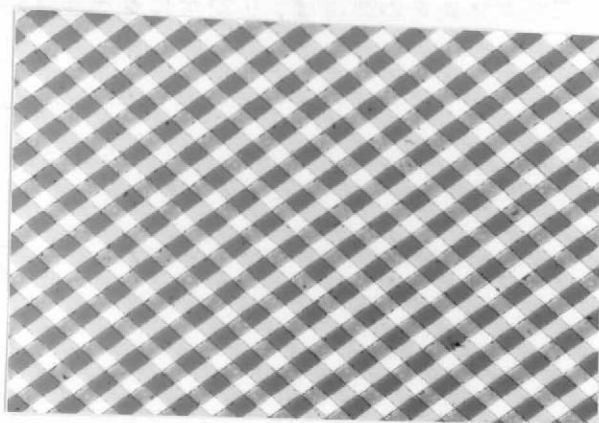


図 2.1.23 ストライプフィルタの写真

表 2.1.5 偏向集束方式と特性比較

項目 \ 方式	電磁集束形 電磁偏向形	静電集束形 電磁偏向形	静電電磁集束形 電磁偏向形
解像度	高い	やや劣る	高い
均一性	周辺解像度の劣化が大きい	ほぼ均一	ほぼ均一
偏向歪	各種歪が生じ易い	少ない	比較的少ない

表 2.1.6 ビジコン変調特性の一例

周波数 (MHz)	2	3	4	5
(i) 垂直ストライプ	1.00	0.75	0.38	0.28
(ii) 斜めストライプ	1.00	0.77	0.55	0.40
(iii) (ii)を(i)の基準で正規化した値	0.55	0.42	0.30	0.22

各数値は 2 MHz の時の出力で正規化したもの

なお以上の諸特性はすべてビーム電流やホーカスコイル電流の影響を受けるので、ビジコンとしては変化の傾向が一致していることが望ましい。

次にオプティカルファイバ面板を用いるビジコンについて述べる。

ビジコンに使用するオプティカルファイバ素子の間隔が小さいものほど高解像度となるわけであるが、現在のところキャノン製の 5.5μ 径のものが最小である。このファイバは 400μ 以上の使用範囲では、ほぼ平坦な分光特性をもち絶対透過率は約60%である。筆者はこのファイバ面板をもつビジコンH8344の試作品を利用して撮像実験を行なったが、十分実用になることが分った。

1.4.5 試作結果

本方式のカラーカメラを試作した結果を述べる。まず図2.1.24に試作装置の外観を示す。

前述のストライプフィルタ直結のファイバビジコンを使用したため、カメラヘッドは一般の白黒ITVカメラと同程度である。カラープロセッサも比較的小形にまとめることができた。

画質については、まずS/Nは白パターンを照度 2000lx 、レンズ絞りF2で撮像した時の



図2.1.24 試作カメラの外観

信号を基準にすると、Y信号 $44\sim50\text{dB}$ 、R信号 $28\sim32$ 、G信号 $34\sim38$ 、B信号 $31\sim34\text{dB}$ であった。R、G、B信号のS/NがY信号に比して悪すぎるが、本方式のR、B成分は変調信号のS/Nでできまり、撮像管等の変調度特性の改良や増幅器の低雑音化が要望される。

色再現性は、本来本方式のようなストライプフィルタを用いた単管式カメラでは理想的な撮像特性が得られず、色再現誤差はかなり大きい。しかし実用上ほど満足すべき色再現性を示しており、図2.1.25に再生画面の一例を示す。この色再現性の改善はマトリクス回路による補正で三管式カメラにかなり近いレベルまで達し得るが、S/N低下を伴うため実際採用には総合的な判断にまたねばならない。

次に解像度特性については、図2.1.26のカラーモニタによるテストパターン映像からわか

るように、300本程度の解像度が得られている。この時Y信号を白黒モニタで見ると400本が解像されているが、これらは本方式の高解像性を実証するものである。しかし図2.1.26の斜めのりんかく部、中央円部、細かい文字部にはマゼンタの色にじみが発生している。これはこの部分で被写体の垂直相関がうすれたため演算分離が完全にできなくなり、G成分のうちR、B変調周波数帯域内の成分がR、B成分として復調されて偽信号となったものである。相関のないパターンによる偽信号の発生は、本方式の大きな欠点の一つであるが、問題のG成分を光学的に少なくするため、光学像を全体にぼかすことによって一応解決することができる。この場合、解像度は270本程度となるが、偽信号は大幅に軽減することができる。

この色にじみの問題の解決法としては、光学的LPFを用い、復調後回路的に補正する方法、りんかく部の色信号をゲート回路で除去する方法などが考えられ、またストライプフィルタを微細化し、搬送周波数を上げR、B帯域内におちこむ高域成分を少なくする手段も考えられる。

なお実際のカメラ試作に当って、画質の安定化が懸念された。すなわちストライプフィルタを用いた垂直相関分離式のため、偏向のサイズ、直線性の精度、ホークス電圧、電流の変動、遅延線の遅延時間等が画質にどの程度影響し、上記特性をどの程度厳しく押えねばならないかという点であった。しかしこれらは個々の値としては、たとえば偏向サイズ、直線性は±2%等普通のITVカメラで現在実現されている精度で十分であることが確認できた。

1.5 まとめ

簡易なカラーカメラとして、ビジコン1個を用いる、いわゆる単管カラーカメラに焦点をおき、特殊面順次方式のカメラと特殊周波数分離形カメラを開発した。いずれも独自でかつ新規な考え方の下に新しい構成要素を導入して簡易小形化をはかっており、それぞれ産業用、教育用等の用途には実用し得る性能を得た。エレクトロニクス関連機器は進歩の速度が著るしく、その時期に得られる最高の技術に応じた最適の構成が要望される。筆者のカラーカメラも面順次方式をとりあげた時期は、微細ストライプを製作し得るIC技術は確立されておらず、受像機の普及も僅かであり、安価な簡易カメラとしてCBS方式が最有力とされていた。この最大



図 2.1.25 カラー再生像

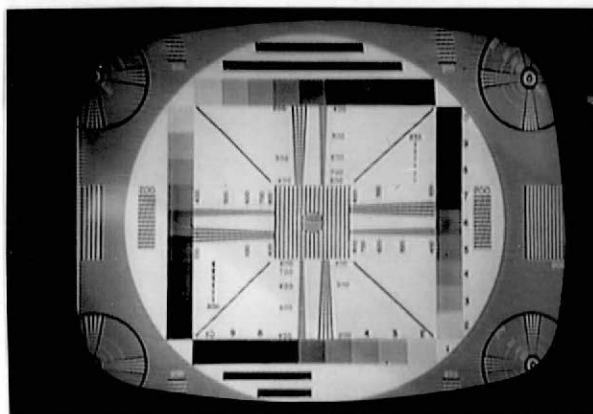


図 2.1.26 テストパターン像

の欠点である機械的回転フィルタと、ビジコン残像による混色問題を解決しようとして提案したのが特殊面順次式カラーカメラである。しかしこのカメラは残念ながら期待以上に安くならず、またマーケットがなかった。数年を経て需要が芽生えた時機には、家庭用受像機の普及が広まりそれとの接続が可能なもの、すなわちNTSC方式への変換可能であることが必要になってきた。したがって面順次方式は閉回路用といえども一般的には余り好ましい方式でなくなったといえる。ただ特殊な用途にはなお応用が検討されており、ごく最近Bell研究所からテレビ電話用に筆者と類似のカメラの報告²⁰⁾がなされた。一方まえがきにも述べたように、カラーカメラの要求は依然として高まる一方であり、諸方で各種の試みが発表されるようになった。筆者は再びカラーカメラの全体を展望し、単管カメラとしてもっとも有望な周波数分離方式を選び、その欠点である解像度の問題に検討を加え相関分離という考え方を導入して新規なカラーカメラの可能性を提案し²¹⁾た。このカメラに用いられた微細なストライプフィルタはICプロセス技術の展開によって始めて可能であり、ファイバビジコンもごく最近試作が可能になったものである。以上のように、カラーカメラは技術の進展と共に新しい方式が可能になり優れた方式が実用化できるもので、今後もなおより優れたカメラの研究開発は行なわれてゆくものと考えられる。

第 1 章の参考文献

- 1) 日比, 西村, 三友, 江谷: 昭 40 . 電気 4 学会連合大会予稿 2137 “簡易型カラー I TV の一方式”
- 2) 江藤, 日比: 昭 45 . 電気 4 学会連合大会予稿 1949 “周波数分離形新カラー撮像方式”
- 3) 江藤, 日比: テレビ誌. 24 (1970), 460-462 “高解像度単管カラー撮像方式の提案”
- 4) 日比, 西村, 三友, 江谷: 第 1 回テレビ全国大会予稿 2-9 (1965) “新方式カラー I TV の諸問題”
- 5) 日比, 西村, 三友, 江谷: 昭 40 . 電気 4 学会連合大会予稿 2138 “簡易カラー I TV のカメラ偏向方式”
- 6) T.Nishimura, M. Hibi, I. Mitomo, H. Etani; J \varnothing SMPTE, 76(1967), 21-24
“An All-Electronic Field Sequential Closed Circuit Color Television System”
- 7) 江藤, 日比: 第 6 回テレビ学会全国大会予稿 4-8 (1970) “高解像度単管カラーカメラ”
- 8) Y.Eto, M. Hibi: Int Electron Devices Meeting, 10-2 (1970-Oct.)
“A New Color Camera Using A Single Pick up Tube”
- 9) 日比: テレビジョン工学ハンドブック, 13-4. オーム社 (1969)
- 10) 林: NHK 技術研究, 22 (1970), 1-11 ; “カラー撮像方式と NHK の新しいカラーカメラ”
- 11) P.C.Goldmark, J.H.Doyce, E.R. Piore, J.M.Holly Wood: Proc. IRE, 30
(1942) 162-182 “Color Television - Part 1”
- 12) P.C.Goldmark, J.W. Christensen, J.J. Reeves: Proc IRE, 39 (1951)
1288-1313 “Color Telerision - U.S.A Standard”
- 13) M.Berry, J.Poole: J \varnothing SMPTE, 78 (1969), 938-942 ; “A Portable Color TV Camera System”
- 14) J.D.Drummond: Electronics, (1969-7-7), 114-117; “Color-TV Wheel Takes a spin in space”
- 15) L.H.Bedford: Brit.IRE, 14 (1954), 464-474 ; “Problem of Television Camera and Camera Tubes”
- 16) 山崎: テレビ誌. 18 (1964), 530-533 ; “単一撮像管カラーカメラ”
- 17) 長原, 長島, 高木: 第 2 回テレビ学会全国大会予稿 4-11 (1966) “周波数分離形カラーカメラとその一応用”
- 18) L.A.Briel: J \varnothing SMPTE 79 (1970) 326-330
“A Single Vidicon Color Telerision Camera System”
- 19) 川崎, 池田: 第 1 回テレビ学会大会 1-8 (1965): “フィールド順次カラーテレビ

ジョンのビジコン残像による色再現の限界”

- 20 竹村, 田尻, 八木: 第3回テレビ全国大会予稿, 4-7 (1967) “簡易色線順次分離輝度カラーテレビカメラ”
- 20 林: テレビ誌, 17 (1963) 91-95 “分離輝度カラー撮像方式”
- 20 林, 杉本: テレビ誌, 20 (1966) 303-313 “2撮像管式分離輝度カラーカメラ”
- 20 S.Gray, P.K. Weimer: RCA Rev., 20 (1959) 413 - “Production of Fine Patterns by Evaporation”
- 20 H.Borken: RCA Rev., 21 (1960) 13 - “Simultaneous Signal Separation in the Tricolor Vidicon”
- 20 江藤, 高橋: 昭45.電子通信学会全国大会予稿, 835 “大変調度AM波に対する低歪検波器”
- 20 R.L.Eilenberger, F.W.Kammerer, J.F. Muller: J'el SMPTE, 79 (1970) 1063-1070; “Compact Optical System for Field/Line Sequential Color Videotelephone Camera”
- 20 江藤, 日比: 特許出願 44-25544, 色信号発生装置

第 2 章 低 速 走 査 形 カ メ ラ

第 2 章 低 速 走 査 形 カ メ ラ

2.1 ま え が き

信号周波数帯域の削減、圧縮は、産業用テレビの普及発展に伴い、次第に重要な問題となってきた。産業用テレビは、閉回路の特質として専用の伝送路を必要とし、かつきわめて事例が多くなるので、電波割当の上からもまたテレビ電話のように線路の経済性の見地から、あるいは宇宙用のように送信電力軽減の点から、狭帯域化の要求は大きく、また多い。一方、機械系による走査などのように、システムを構成する部分装置を高速になし得ず、狭帯域化する場合もある。表 2.2.1 に狭帯域テレビの各種の例を示した。

表 2.2.1 狭帯域テレビカメラの例¹⁾

名 称	周波数帯域 (kHz)	フレーム時間 (sec)	走査線数	検知器	受像機	備 考
テレビ電話	500	1/30	275	ビジコン	普通(P4)ブラウン管	ATT: Picture Phone (I) ⁽²⁾
気象衛星用テレビ	1.6	1/200	800	ビジコン (低速用)	ファックス	Nimbus APT方式 ³⁾
ロケットテレビ	140	2	600	ビジコン	残光性ブラウン管	東大K-9M-11 ³⁾
金星観測テレビ	6(4.17Hz)	1/24(8.33h)	200	ビジコン	計算機処理写真	Mariner ⁴⁾ (注) 内は録画再生送出
ファックス用テレビ	2	2min	750	ビジコン	ファックス	東芝 ⁵⁾
赤外撮像装置	50	4	スイラル走査 400	InSbセル	写真	日電 ⁶⁾

狭帯域化をテレビカメラで行なう場合に限って論ずると、次のような手段が考えられる。

- (1) フレーム数の低下……低速走査
- (2) 走査線数の低下……低解像力化
- (3) 飛越走査の利用……たとえば 3 : 1 飛越走査
- (4) 間欠走査……遅延装置、蓄積管などを利用したコマ抜き取り(走査変換を含む)

ここで、(1)は書類伝送のような高解像力を望む場合、(2)は動きを伴う被写体を対象とする、たとえばテレビ電話のような場合に使用される。(4)は各種の変形が可能であり、今後の発展が期待される方式である。

本章では狭帯域化の手段としてもっとも一般的な上記、(1)フレーム数を低下させる低速走査形カメラについての筆者の研究を述べる。

2.2 低速走査形カメラの基本設計

(1) テレビシステムの設定

標準方式以外のテレビカメラの設計とは、大抵の場合、受像装置を含めたテレビシステムの設計を意味する。したがってカメラの設計の前には、必らずシステムの目的を把握し、システムの機能、関連機器の内容を明確にしておく必要がある。

低速走査テレビシステムでは、もつとも単純な場合でも、(i)静止被写体を対象に、連続撮像を行ない、ブラウン管直視を主体とするモニタリングを行なうシステム、(ii)動く被写体を対象に、間欠撮像を行ない、受像は写真記録によるシステム、のどちらを採るべきかを最初に設定せねばならない。後者のシステムでは、普通のテレビ方式で一般的に用いられているインターレース方式は、フィールド間の信号レベル差が大きいため採用できないし、光のシャッタ機構が必要のため、関連した各種の問題を生ずることを知っておく必要がある。

本節では、上記2システムの例として、それぞれ筆者が研究開発した(i)書画伝送用カメラ(周波数帯域150kHz、フレーム時間2.8秒)、(ii)気象衛星用モデル⁽⁷⁾⁽⁸⁾(周波数帯域60kHz、フレーム時間6.5秒)を取上げ、カメラ設計の問題を論ずる。

(2) 方式(走査基準)の設計

システムが設定された場合、最初に与えられるのは、一般的には伝送路の関係で定まる周波数帯域 B と、使用目的から定まる解像力とそれに対応する走査線数 N である。方式の設計は、これらの数値から必要諸元を適切に決定することであろう。これはテレビジョンの走査による最高信号周波数を与える関係式(2.2.1)および関連式(2.2.2)を用い、若干の設定を行なえば容易に基本案を得ることができる。

$$B = \frac{1}{2} K \frac{W}{H} \frac{y}{x} \frac{N^2}{T} \quad (2.2.1)$$

$$T_H = \frac{1}{f_H} = \frac{T}{N} \quad (2.2.2)$$

こゝで、 B ：映像信号最高周波数(周波数帯域幅) T_H ：水平走査時間
 K ：Kell 係数(=0.7) f_H ：水平走査周波数
 N ：走査線数
 W/H ：ラスタの横縦比
 x ：水平有効走査率
 y ：垂直 "
 T ：フレーム時間

さて実際の式(2.2.1)の適用については、インターレースの問題を含めて、色々の考慮を必要とする。こゝでは上述の(i)、(ii)についてカメラ方式設計の実例を述べる。

(i) 書画伝送用カメラの場合

本カメラは銀行等における帳簿その他の書類を伝送する目的で実験的に開発したもので、周波数帯域は伝送路として無線を想定した関係上、最初から150kHzと定められていた。本カメラは書類伝送用として少なくとも800本程度の解像力を必要とするが、それ以外の点は連続

走査を行なう標準形式のものと考えてよい。

式(2.2.1)において $B=150\text{kHz}$, $N=800$, $W/H=4/3$, $K=1$, $x=0.95$, $y=0.95$ とおくと, $T=2.84\text{S}$, $f_H \approx 282\text{Hz}$ となる。

以上の算定をもとに, 逆に $T=2.8\text{S}$, $f_H=300\text{Hz}$ と設定すると, $N=840$ となる。フレーム時間 T が2.8秒もあると, P7蛍光体を用いた残光性ブラウン管を用いても, 光の消滅による像の鮮明度の低下が大きく, 目による観察がしにくいので, 特にフリッカが問題になるわけではないが, インターレース方式を採用した。インターレースを行なう場合は, 走査線数 N は奇数である必要があり, 840に近い値として, $N=845=13^2 \times 5$ をえらんだ。このカメラの同期信号系は結局, 原発振器の周波数が $2f_H=600\text{Hz}$ となり, 水平, 垂直周波数はそれぞれ $f_H=300\text{Hz}$, $f_f=600/845$, フレーム時間 $T=2/f_f \approx 2.8\text{S}$ となる。

表2.2.2は上記カメラ諸元の一覧表であり, 第2.2.1図は試作装置の外観である。

(iii) 気象衛星用モデルカメラの場合

このカメラは科学技術庁宇宙開発推進本部の委託を受けて, 人工衛星(特に気象衛星)搭載用テレビカメラのサブシステムの設定, 動作機能の確認, 問題点摘出を目的として試作した原理モデル^{7) 8)}である。気象衛星用のテレビシステムとしては, 既に米国から各種のシステムが発表され, 実用化されている。筆者は上記目的に対して, その内の一つ, AVCS

(Advanced Vidicon Camera System)方式を追試した。表2.2.3は各方式の一覧表である。

カメラシステムの第一の問題は, 被写体である地球に対して, 衛星およびカメラが常に運動を続けていることであり, このため瞬間露出(1~2ms)によるコマ撮りを行なう必要がある。この場合, 像の再生は写真によらざるを得ないので, インターレースは不適当である。また被写体は地球表面であり, 画像の横縦比は4/3よりは1/1の方

表 2.2.2 書画伝送用低速走査カメラの方式仕様

項 目	仕 様
走査方式	2 : 1 インターレース
走査線数	845本
垂直走査周波数	$600/845 \approx 0.71\text{Hz}$
水平走査周波数	300Hz
横縦比	4 : 3
フレーム時間	$845/300 \approx 2.8\text{S}$
周波数帯域幅	150kHz

備考: { 1時ビジコン7038,
残光性ブラウン管14WP7使用

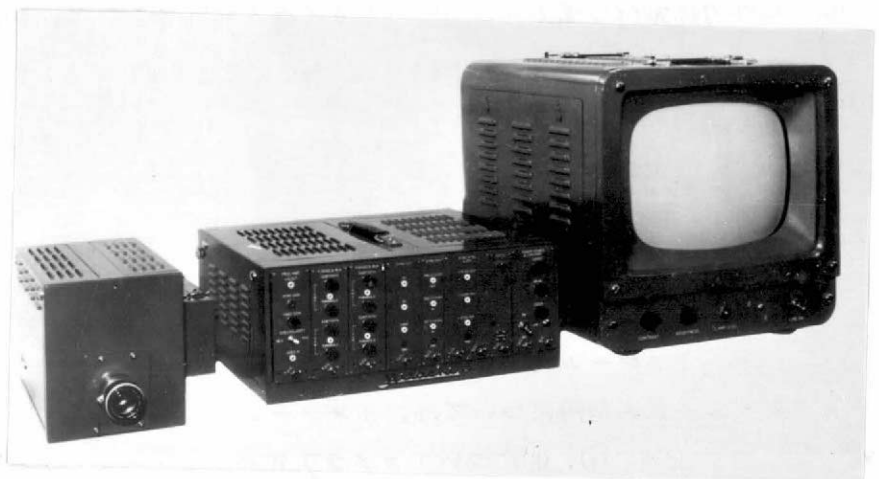


図 2.2.1 書画伝送用カメラの外観

が合理的である。

以上のことを考慮

して、先ず本カメラ

では、解像力の

目安を800本、

垂直周波数を

AVCSの6.5 S

に合せた。式

(2.2.1)から

$K=1$ 、 $\alpha=0.95$ 、

$y=0.95$ 、 $W/H=1$ 、 $N=800$ 、 $T=6.5\text{ S}$ とおくと、 $B=49\text{ kHz}$ 、 $f_H=123\text{ Hz}$

が得られる。試作カメラではこれから逆に $f_H=120\text{ Hz}$ と整数値に定めて、 $N=780$ とした。表2.2.3では周波数帯域が60 kHzとなっているが、これはカメラ以後の磁気テープ装置等の信号回路系の特性を検討する意味もあつて余裕をもたせたもので、水平解像力1000本に対応する信号の伝達が可能である。

表 2.2.3 気象衛星用テレビ方式一覧表^{9) 10)}

項目	システム	本試作	Tiros	APT	AVCS	
	衛星				Tox	ATS
走査線数		780	500	800	800	833
垂直走査周波数(Hz)		1/6.5	1/2	1/200	1/6.5	1/6.5
水平走査周波数(Hz)		120	250	4	123	1333
映像周波数帯域(kHz)		60	62.5	1.6	60	60
レンズ焦点距離(mm)		5.7	5.3	5.7	17	12
露出時間(mS)		2	1.5	40	1.5	40

2.3 低速走査とビジコン特性

低速走査カメラとそこで使用するビジコンの問題については、米国では主として宇宙用、日本では書類伝送用を目的として若干の報告⁽¹²⁾⁽¹³⁾⁽¹⁴⁾⁽¹⁵⁾⁽¹⁶⁾⁽¹⁷⁾がある。その主な内容は

(a) ビジコンの直線的蓄積を仮定すれば、走査時間に無関係に与えられた光量に対して一定の信号電流を生ずる。したがって帯域幅の低減とそれに伴う雑音の減少によって有効感度が増加する。

(b) 解像力は電荷の横方向の漏洩により劣化の傾向にあるが、普通の低速走査では目立つまでに至らない。むしろ電荷放電の時間の増加によってビーム電流が少なくてすみ、スポット径の縮小により解像力が向上する。

(c) 暗電流の増加による画質劣化が大きい。

等である。しかしこれらの内容は抽象的なものが多く、ビジコンの基本特性の角度から論じたものはほとんどない。本節ではこの点に重点をおいて論ずる。

2.3.1 低速走査時のビジコン特性の理論的検討

(1) 一般的特性

低速走査におけるビジコンの動作も基本的には標準走査の場合とまったく同一である。したがって低速走査時のビジコン出力信号は、第1部第1章で述べた基本式(1.1.1)によって与えられる。式(1.1.1)で走査に関係する項は、フレーム時間 T と画素を走査する時間 ΔT である。 ΔT は走査線数、帰線時間、ビームアパーチャ等に関連するが、一般に T と比例関係にあり、比例係数 η として次式が成立する。

$$\Delta T = \eta T \quad (2.2.3)$$

式 (1.1.1) , (2.2.3) より次式が得られる。

$$\bar{I} = \frac{I}{a} = \frac{1 - \epsilon^{\frac{T}{\tau}}}{T} \quad (2.2.4)$$

$$a = \frac{CE}{\eta} \quad (2.2.5)$$

式 (2.2.4) は走査方式 (フレーム時間) とビジコン光導電膜の時定数とビジコン出力信号の関係を表わす基本的な式で, \bar{I} は I を正規化したものと考えればよい。なお a は, ビジコン個々の性質と動作条件によって決定される。さて式 (2.2.4) から, 時定数 τ をパラメータとして, \bar{I} と T の関係を求めると図 2.2.2 が得られる。 τ は光量によって変化するから, τ を光量を表わす値とみることができる。

図 2.2.2 はビジコンの基本特性図であり, 低速走査におけるビジコンの動作について色々の事柄を示してくれる。ビジコンの暗時の時定数を $\tau = 1$ とし, 微弱な光量と十分な光量を与えた時に, それぞれ時定数が, $\tau = 5 \times 10^{-1}$, $\tau = 1 \times 10^{-1}$ になったとしよう。図からこのビジコンの条件では, $T < 10^{-2}$ の場合, 出力電流 \bar{I} は T に関係なく一定であり, 十分光量に対する信号電流は暗電流の 10 倍程度であることが分かる。 \bar{I} が T によって変わらないのは, 電荷蓄積が直線領域に

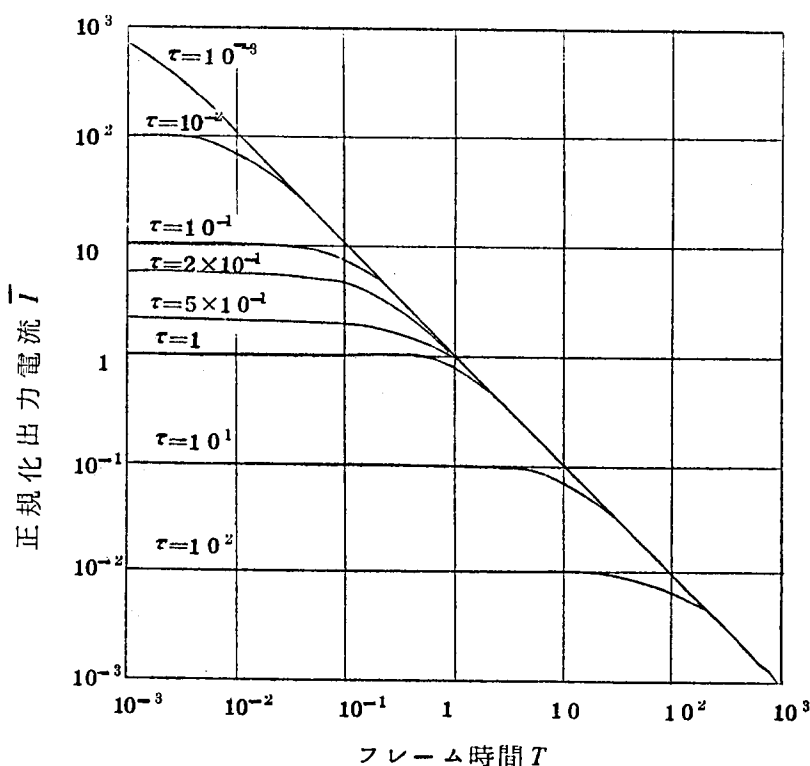


図 2.2.2 フレーム時間, 時定数と出力電流の関係

あるためで, 文献の一般的議論と一致する。次に $T \approx 10^{-1}$ では十分光量に対しては信号電流の飽和現象が始まり, $T \approx 1$ になると信号電流は大幅に減少し, 暗電流が出力電流の大部分を占めるようになる。 $T \approx 1$ の場合に得られる僅かな信号成分は, 微弱光量に対応するもので, 十分光量を与えても増加しない。またさらに, $T > 1$ では信号成分はほとんど消滅し, 暗電流自体も T に反比例して減少することになる。

以上のようなビジコン動作の分析から, 低速走査時に良好な撮像動作を得る条件を考えてみると, 常軌的ではあるが次のような事項が挙げられる。

(a) I_s/I がある程度以上大きいこと。

ビジコンの暗電流は完全な直流ではなく, ムラやキズによる偽信号成分をもっているため,

低速走査により T が大きくなり、暗電流成分が優勢になると画質は急速に劣化する。ある程度管の選択が必要となろう。

(b) I_s が飽和領域に入らぬこと。

低速走査では入射光量を増しても信号成分は増加しない。この状態では暗調のある画像を良好に再生することはできない。動作点が飽和領域に入らぬよう入射光量を減じて動作させる必要が生ずる。

(c) I_s の絶対値がカメラ雑音に対して十分な S/N のとれる値をもつこと。

ビジコンカメラでは、ビジコン自体の雑音よりも増幅回路のもつ雑音が支配的であるので注意を要するが、一般的にも上記要求は当然のことと言える。

以下これらの三つの問題について考察を進める。

(a) I_s/I の問題

ビジコンの基本式 (1.1.1) から、光入射時の信号電流 I_s と全出力 I との比は、次式のよう

$$\frac{I_s}{I} = 1 - \left(\frac{1 - e^{-\frac{T}{\tau_d}}}{1 - e^{-\frac{T}{\tau_s}}} \right) \quad (2.2.6)$$

ここで、 τ_d 、 τ_s はそれぞれ暗時、明時の時定数を示す。

式 (2.2.6) において、 $m = \frac{\tau_d}{\tau_s}$ と表わして、 I_s/I と T/τ_d の関係を m をパラメータとして計算すると図 2.2.3 が得られる。なお図において、 $(1 - \frac{I_s}{I})$ は暗電流成分を示すものである。

図からわかるように、 $T/\tau_d > 10^{-1}$ になると、 I_s/I は次第に低下する。さらに $T/\tau_d > 1$ では十分な光量があっても暗電流の方が信号電流よりも多くなり、画質の急速な劣化が予想される。以上のことから、この I_s/I の問題に関する一

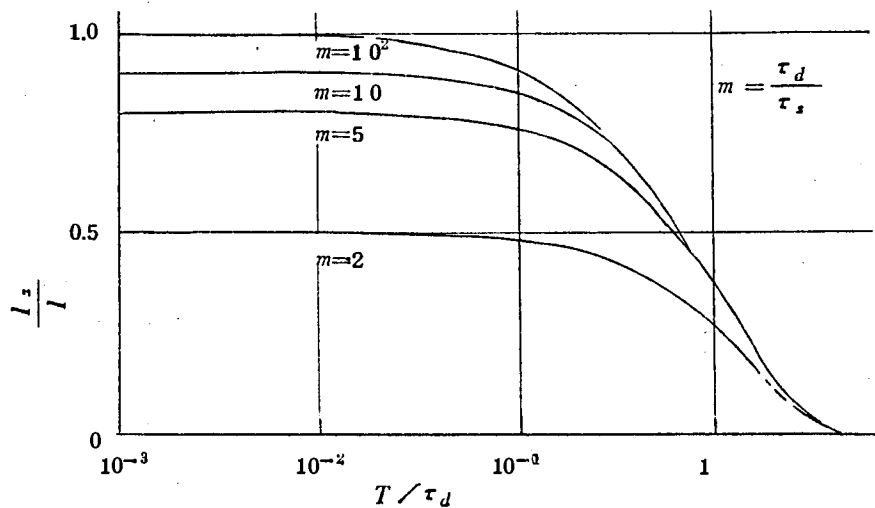


図 2.2.3 $\frac{I_s}{I}$ と T の関係

般的結論が得られる。すなわち、ある走査方式が与えられ、フレーム時間 T がきまると、暗時時定数 τ_d が少くとも T と同程度以上のビジコンを選ぶ必要がある。これは低速走査用ビジコンについて考慮すべき重要事項の一つである。

(b) I_s の飽和の問題

図 2.2.3 を見ると、 $T/\tau_d > 10^{-1}$ になると I_s/I の低下ばかりでなく、 $m (= \tau_d/\tau_s)$ の値の大きい所では飽和現象を生ずることがわかる。また $T/\tau_d > 1$ になると、 m の小さい所で

も飽和してくる。このような条件で中間調のある画像を良好に再現するには、ある適当な m の値があり、対応する微弱な入射光量の下で動作させる必要がある。この適当な m の値を知るために、 $T/\tau_d = 1$ 、 $T/\tau_d = 2$ の場合を例にとって、 m に対する I_s/I の飽和特性を求めたのが図 2.2.4 である。

この図から、 $T/\tau_d = 1$ の場合、信号の直線性が保持され、良好な画像が得られる入射光量は時定数に換算して $m = 2$ が限度であることがわかる。この時得られる信号電流は出力電流の僅か 27% にすぎない。 $T/\tau_d = 2$ の場合はさらに減少し、信号電流は出力電流の 10% 以下の所で動作させざるを得ない。

なお時定数が入射光量に単純逆比例すると仮定すると、 m の値は入射光量に比例するから、標準走査時の平均データ（暗電流 $0.02 \mu A$ で、入射光量 10 lx の場合、信号電流 $0.2 \mu A$ ）を利用して、 $m = 2$ に対する入射光量の大きさを推定すると、その値は 2 lx になる。 m がさらに小さくなると上記の単純な仮定は成立しなくなるので、その推定は難しく、たゞ微弱光で動作させる必要があると言うにとどまる。

(c) 信号電流 I_s と S/N

低速走査の場合、同一解像力を仮定すると必要な周波数帯域 B は T に反比例して減少するから、雑音も減少し信号電流が余り大きく減少しない限り、全体としては良い S/N を維持することが可能であると考えられる。低速走査で感度が増加すると述べた文献もあるが、このことを示すものである。以下この問題について考えてみる。先ずビジョンカメラの雑音と S/N については、式 (2.2.7)、式 (2.2.8) が一般に与えられている⁽¹⁾。

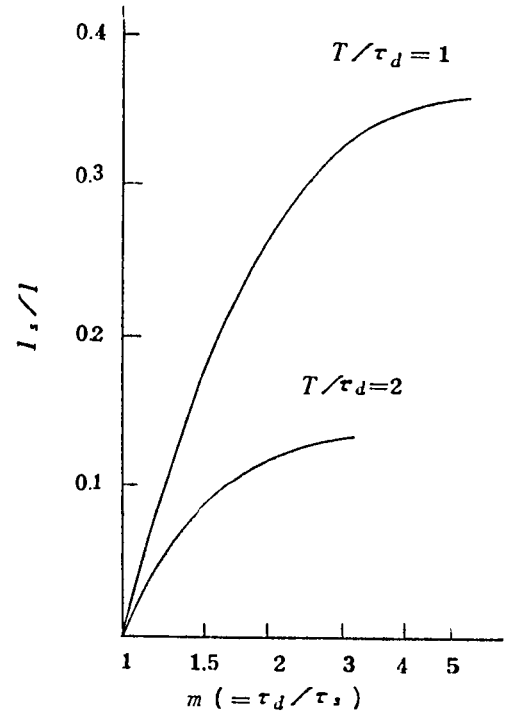


図 2.2.4 m と I_s/I の関係

$$\overline{i_n^2} = 2 e f_c \left(I_b + \frac{2}{A R_L} + \frac{2}{3 A} R_{eq} \cdot \omega_c^2 \cdot C_o^2 \right) \quad (2.2.7)$$

$$\frac{S}{N} = \frac{I_s}{\sqrt{2 e f_c \left(I_b + \frac{2}{A R_L} + \frac{2}{3 A} R_{eq} \cdot \omega_c^2 \cdot C_o^2 \right)}} = \frac{I_s}{\sqrt{\overline{i_n^2}}} \quad (2.2.8)$$

ここで i_n : 雑音電流、 e = 電荷 ($1.6 \times 10^{-19} C$)、 f_c = カットオフ周波数 (周波数帯域幅)
 I_b : ビーム電流、 $A = e/KT = 3.88$ 、 R_L : 負荷抵抗
 R_{eq} : 真空管の等価雑音抵抗、 C_o : 回路の全浮遊容量、 $\omega_c = 2\pi f_c$

式 (2.2.7) の第一項はビーム電流のショット雑音、第二項は負荷抵抗 R_L の熱雑音、第三項は真空管の内部雑音を示す。

ビジョンカメラの雑音電流は、式 (2.2.7) に具体的数値を代入すれば求まり、たとえば標準走査の場合、 $f_c = 4.5 \text{ MHz}$ 、 $I_b = I_s = 0.3 \mu A$ 、 $R_L = 100 k\Omega$ 、 $R_{eq} = 100 \Omega$ 、 $C_o = 30 \text{ pF}$

とみると、第一項は $0.43 \times 10^{-18} \text{ A}^2$ 、第二項が $0.76 \times 10^{-18} \text{ A}^2$ 、第三項が $1.8 \times 10^{-18} \text{ A}^2$ と計算され、各項は同程度の影響因子となっていることがわかる。なお、全体の $\overline{i_n^2}$ は $2.99 \times 10^{-18} \text{ A}^2$ となり、 $S/N = 44.8 \text{ dB}$ となる。

ここで低速走査の場合を考え、フレーム時間が標準走査の $1/30$ S の 1 桁以上大きいものとすると、 f_c は 1 桁以上小さくできるので、第三項は ω_c^2 の影響で他の項に比し、無視できる。すなわちフレーム時間が $1/30$ S 程度以上の低速走査の場合の雑音電流としては次式を考えればよい。

$$\overline{i_n^2} = 2 e f_c \left(I_b + \frac{2}{A R_L} \right) \quad (2.2.9)$$

上式で右辺 () 内を一定と仮定すれば、雑音電流はフレーム時間に反比例して減少するわけで、信号電流が余り変らない範囲の低速走査では S/N はフレーム時間の平方根に反比例して改善される。

もちろんフレーム時間が大きくなり、雑音の改善以上に信号が低下する場合があるが、これは止むを得ない。

このような場合、式 (2.2.9) の右辺 () 内の I_b は当然減少するし、 R_L も 1 桁以上大きくして極力雑音電流の軽減に努めることになる。 R_L の値は式 (2.2.7) からあきらかなように、標準走査時においても大きい方がよいが、 C_o とともに増幅系の f_c を決定する因子である以上、大きくしすぎると増幅器の周波数特性を平坦に補償することが困難になるので限度がある。標準方式では普通は $50 \sim 100 \text{ k}\Omega$ にえらばれているが、低速走査カメラでは $1 \text{ M}\Omega$ 以上にする場合が多い。

ここで参考のため低速走査時の S/N の具体的数値について検討しておこう。今 $T = 1$ 秒とし、標準走査と同一解像力を得る条件で周波数帯域を、 $f_c = 4.5 \text{ MHz} / 30 = 150 \text{ kHz}$ 、ビーム電流は出力電流がほぼ $1/10$ になることを考慮して、 $I_b = 0.03 \mu\text{A}$ 、 $R_L = 1 \text{ M}\Omega$ と仮定してみる。これらの数値を式 (2.2.9) に代入すると、 $\overline{i_n^2} = 4.0 \times 10^{-22} \text{ A}^2$ となる。ここで信号電流を出力電流の 2.7% 、したがって標準走査時の信号電流の 2.7% の $0.008 \mu\text{A}$ と仮定すると、 $S/N = 125$ すなわち 42 dB となり、標準走査時に比し、約 2 dB 程度の減少であることがわかる。

以上のように、低速走査では周波数帯域の制限や負荷抵抗の増大により、雑音電流をかなり減少させることができるので、信号電流の減少の割には S/N をそれほど悪くせずすむ場合が多い。したがって条件如何では標準走査時以上の S/N を得、等価的に感度増加という現象を生ずることもあり得る。低速走査カメラの設計には、ビジコンの信号電流の値と共に、この雑音電流の関係をよく考慮する必要がある。

(2) 低速走査と標準走査の特性比較

低速走査時のビジコン特性と、その管の標準走査時の特性との関連性を知ることは、低速走査特性の理解を容易にするだけでなく、実際のビジコン選択にも必要なことである。そこで本項では両走査時の信号特性の比較に関する検討を行なう。

ビジコンの信号発生メカニズムは、走査方式によって変化しないから、異なった走査基準に対して発生する信号特性の間には、ある一定の関係が存在するはずである。

今、低速走査時と標準走査時に、一つのビジコンを同一信号電極電圧で動作させたとする、基本式(1.1.1.)から次の関係式が得られる。

$$\frac{I_{SL}}{I_N} = \frac{\Delta T_N \left(1 - e^{-\frac{T_{SL}}{\tau_{SL}}}\right)}{\Delta T_{SL} \left(1 - e^{-\frac{T_N}{\tau_N}}\right)} \quad (2.2.1.0)$$

ここで、 I 、 ΔT 、 T 、 τ はそれぞれ出力電流、画素走査時間、フレーム時間、時定数であり、添字 SL 、 N は低速走査(Slow-Scan)、標準走査(Normal-Scan)を意味する。

ここで一般には次の関係が成立つと考えられるので、式(2.2.10)は多くの場合、式(2.2.13)のように書改めることができる。

$$\Delta T_N / \Delta T_{SL} \approx T_N / T_{SL} \quad (2.2.11)$$

$$T_N < \tau_N \quad (2.2.12)$$

$$\frac{I_{SL}}{I_N} \approx \frac{T_N}{T_{SL}} \frac{\left(1 - e^{-\frac{T_{SL}}{\tau_{SL}}}\right)}{\left(\frac{T_N}{\tau_N}\right)} = \frac{\tau_N}{\tau_{SL}} \cdot \frac{\tau_{SL}}{T_{SL}} \left(1 - e^{-\frac{T_{SL}}{\tau_{SL}}}\right) = \sigma \frac{\tau_N}{\tau_{SL}} \quad (2.2.13)$$

但し

$$\sigma = \frac{\tau_{SL}}{T_{SL}} \left(1 - e^{-\frac{T_{SL}}{\tau_{SL}}}\right) \quad (2.2.14)$$

σ の値は、 T_{SL}/τ_{SL} の値だけできまり、その関係は図2.2.5のようになる。

ここでまず暗電流について低速、標準両走査時の値を比較してみよう。なお暗時に対応する各種記号には添字 d をつけて表わすことにする。暗時時定数は走査に関係なく $\tau_{dN} = \tau_{dSL}$ であるので、今低速走査の条件として、 $T_{SL}/\tau_{dSL} = 1$ と仮定してみると、図2.2.5と式

(2.2.13)から

$$\frac{I_{dSL}}{I_{dN}} = 0.63 \quad (2.2.15)$$

となる。ビジコンの有効な動作条件は、前項(a)で述べたように $T_{SL}/\tau_{dSL} \leq 1$ と考えられるので、普通の低速走査時の暗電流は標準時の暗電流に比して、ほぼ同程度か若干少ない値をとるものと想定してよい。

次に信号電流について考えてみる。なお光入射に対応する各種記号には添字 s をつけて表わす。

信号電流比については、次の関係式が成立つ。

$$\frac{I_{sSL}}{I_{sN}} = \frac{I_{sSL} - I_{dSL}}{I_{sN} - I_{dN}} = \frac{I_{sSL}}{I_N \left(1 - \frac{I_{dN}}{I_N}\right)} \quad (2.2.16)$$

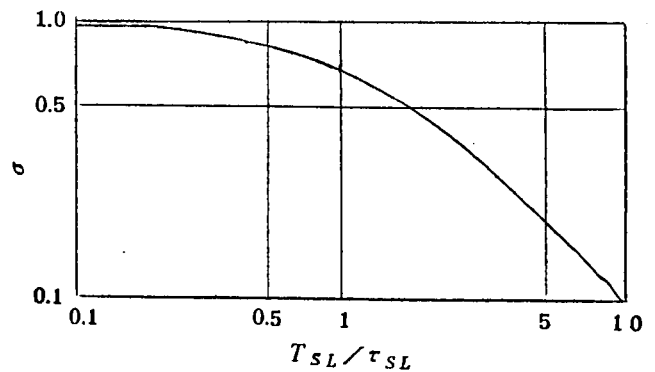


図2.2.5 T/τ と σ の関係

この場合も、低速走査の条件を前記と同じく $T_{SL}/\tau_{dSL}=1$ とおき、(1)項(b)で述べた低速走査の適当動作条件から、 $m=\frac{\tau_d}{\tau_{SL}}=2$ と仮定してみる。まず I_{SSL}/I_{SL} の値として、図 2.2.4 から 0.27 を与え、 I_{dN}/I_N の値として標準走査の一般例から、 $I_{dN}/I_N=0.02\mu A/0.2\mu A=0.09$ を与えてみる。次に I_{SL}/I_N は式 (2.2.13) から、 τ_N/τ_{SL} に比例するが、これはまたそれぞれの入射光量に反比例するものとし、 τ_N に対し 10lx 、 τ_{SL} に対し 2lx の入射光量に対応させると、結局 $\tau_N/\tau_{SL}=1/5$ 、 $I_{SL}/I_N=0.2\sigma$ となる。一方 σ の値は、 $T_{SL}/\tau_{SL}=m\frac{T_{SL}}{\tau_{dSL}}=2$ であるから、図 2.2.5 より $\sigma=0.45$ が得られる。式 (2.2.16) に上記諸数値を代入すると、両走査時の信号電流比とし次のような値が求められる。

$$\frac{I_{SSL}}{I_{SN}} \approx 0.45 \cdot 0.2 \cdot \frac{0.27}{(1-0.09)} = 0.027 \quad (2.2.17)$$

この値は、 $T/\tau_d=1$ の低速走査条件に対し、多くの仮定を用いて算出したものであるが、標準走査との比較について大略の目安を与えるものである。すなわち $T/\tau_d=1$ という低速走査の限界に近い動作条件の下では、信号電流は標準走査の時の数パーセントになると考えるのが妥当である。

2.3.2 低速走査時のビジコン特性の測定と検討

(1) 低速走査特性の測定

前項で紹介した(1)の低速走査用テレビ装置(図 2.2.1)を用いて、手元にある種々のビジコンについてその特性を測定し、併せて標準走査時の特性と対比を行なった。この測定はかなり面倒であり、時間を要する。すなわち管の動作設定、アライメントやシェーピング補正等の調整にかなり時間を要する他、出力電流が非常に少いこと、信号電極電圧の変化に対する系の応答速度が遅いこと、帰線消去信号による計器指示の動揺、漏洩電流の影響等により誤差が大きくなる恐れがあり、注意を要した。

最初にビジコンの両走査時の特性測定結果を表 2.2.4 に示す。

なお低速走査時も標準走査時と同一の信号電極電圧 E_{00} (標準走査で暗電流 $0.02\mu A$) に設定した。 I_{SSL} は透過テストパターンを用い、面照度約 0.31lx に対する信号電流値である。面照度の値がかなり小さいが、これはすべての測定ビジコンについて、階調がほぼ満足される条件を選んだため、信号電流もそれに応じて低い値となっている。

低速走査時の残像は一般にかなり長く、むしろ焼付というべきかも知れないが、いわゆる残像の測定は困難なので、ここでは両者を含めて残像 ($\text{lag } SL$) と表現する。残像の測定はテストパターンを 5 フィールド露光しておき、レンズキャップをかぶせてから像が完全に消滅するまでの時間をフィールド数で表わすこととした。なお参考までに立上り時間をも求めたが、これはパターン上に黒片を縦におき、黒片を除去した後の映像上の黒片像が完全に消滅するまでのフィールド数を求めたものである(フィールド数はモニタの走査輝線がモニタ画面を横切る数を回で数える)。なお具体的操作としては、光遮断又は黒片の除去を輝線がモニタの下端にきた瞬間に行ない、次の輝線から経過時間を数えるので、得た結果から 1 を差引いた値を残像又は立上りとした。1 を差引くのは第 1 回目の走査は本来の蓄積信号を発生するからである。具体的残像時間は、フィールド数に $\frac{1}{0.71}=1.4\text{s}$ を乗ずればよい。なお標準走査の残像値 ($\text{lag } N$) は光遮断後 50ms 後の残像信号の原信号に対する百分比である。

表 2.2.4 ビジコンの標準，低速両走査時の特性比較

管 番 号	E_{00} (V)	I_N (μ A)	I_{dN} (μ A)	I_{sN} (μ A) (10 ϕ_x)	lag N (%)	τ' (s) ($E_1=E_{00}$)	I_{sL} (μ A)	I_{dsL} (μ A)	I_{sSL} (μ A) (0.3 ϕ_x)	lag SL (フィード)	立 上 り (フィード)	画 質	備 考
4J105	14	0.336	0.02	0.316	90	1.2	0.0145	0.007	0.0075	60	11	A	
3K3	30	0.120	0.02	0.100	22	1.2	0.017	0.016	0.001	4	2	C	
3I11	30	0.134	0.02	0.114	35	2.5	0.012	0.010	0.002	7	4	C	
3K27	18	0.194	0.02	0.174	78	1.0	0.019	0.013	0.006	50	7	A	
4E84	37	0.149	0.02	0.129	22	6	0.020	0.018	0.002	8	3	B	7038
3K121	39	0.247	0.02	0.227	50	4	0.024	0.019	0.005	30	7	B	RCA 6198A
S222	50	0.14	0.02	0.12	50	9	0.019	0.016	0.003	15	4	A	
ID7	40	0.125	0.02	0.105	37	3.5	0.018	0.016	0.0015	7	2	A	7038
4I96	40	0.19	0.02	0.17	20	6.5	0.020	0.017	0.003	11	5	A	
3K394	15	0.38	0.02	0.36	20	1.2	0.023	0.017	0.006	7	4	A	H8304
2J216	61	0.125	0.02	0.105	33	1.8	0.015	0.013	0.002	12	2	C	
3C45	70	0.31	0.02	0.29	22	6.5	0.020	0.017	0.003	13	5	B	
87	7	0.295	0.02	0.275	60	7	0.022	0.015	0.007	50	6	A	

画質判定はコントラスト、ムラ、シェーディング、キズ等を主観的に判断したもので、残像は考慮していない。実際実用になるものは、A、Bの中からキズ、残像を考慮して選択せねばならないが、はっきりいってこれを十分満足できるものはきわめて少なかった。

(2) 測定結果の検討

低速走査時のビジコン特性が標準走査時からどのように変るか、またその相関性はどうかという問題について、前記実験結果を2.3.1節で述べた理論検討と対比しながら調べてみる。

(a) 暗電流比

2.3.1 (1)項で、暗電流比 I_{dSL}/I_{dN} は1より小さく、 $T_{SL}/T_{dSL}=1$ の限界に近い条件で、その値は0.63になることを述べた。図2.2.6は、 $I_{dN}=0.02\mu A$ 一定に対する I_{dSL} の分布を示すもので、理論どおり大部分のビジコンは1～0.63の間に存在することがわかる。

(b) 信号電流比

2.3.1 (1)項では多くの仮定はあるが、 $T/\tau_d = 1$ の条件に対し、暗調を保证する最大信号電流は、標準時の0.027倍が一つの目安として与えられることを述べた。図2.2.7は実験値からプロットした I_{dSL} と I_{dN} の関係であり、図中の斜線は $I_{dSL}/I_{dN}=0.027$ を示すものである。この0.027の値は、 $m=\tau_d/\tau_s=2$ (2ℓx)を仮定した時の推定計算値で、実験の面照度0.3ℓxに対するデータと比較するのは不適当とも言えるが、許容最大値という意味で記した。図からすべてのデータはこれより低い値をとることがわかり、低速走査時の信号電流が標準時の数%以下という目安は妥当なものであることが示されたと言えよう。

(c) 出力電流比

出力電流は暗電流と信号電流の和であり、標準走査の場合は大部分が信号電流(約90%)、低速走査の場合は大部分が暗電流(約70%)である。したがって直接的な出力電流の比較は実質的には、標準走査時の信号電流と低速走査時の暗電流の比較となり、

余り意味がない。数値的には後者が標準走査の暗電流に近い値であるため、標準走査時の信号

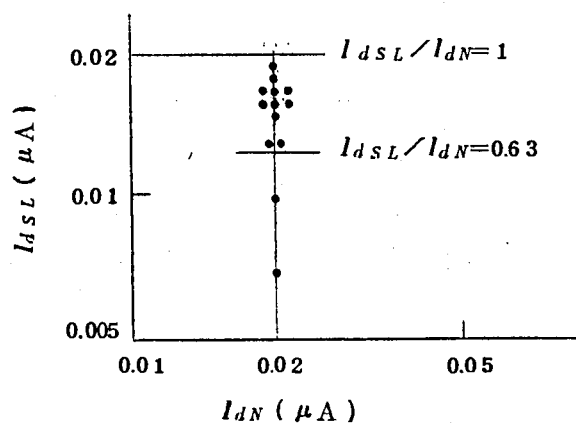


図 2.2.6 両走査時の暗電流の関係

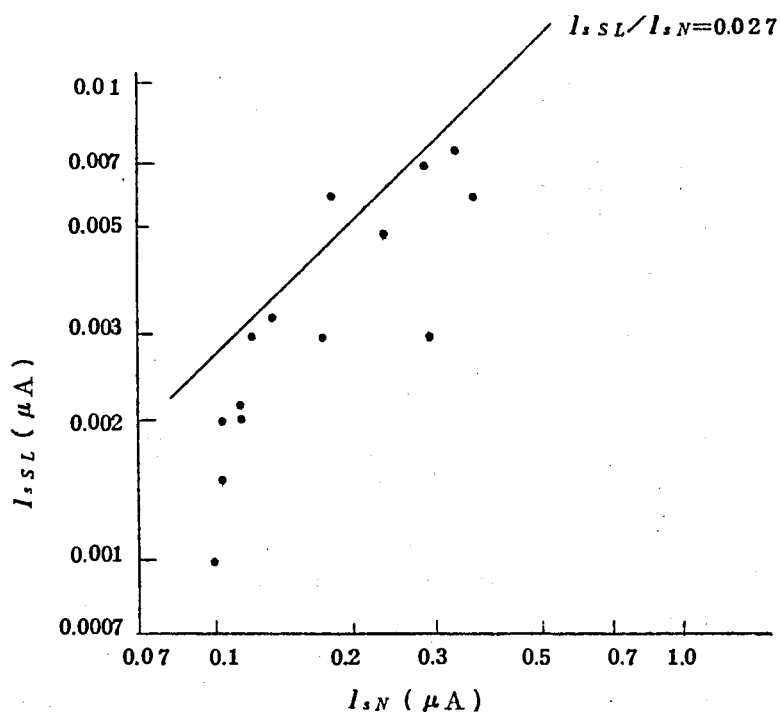


図 2.2.7 両走査時の信号電流の相関

電流対暗電流比に近い値をとり、大体 $I_{SL}/I_N \approx 0.1$ 程度となる。

(d) 残 像

● 残像について両走査時のデータの関係を図示すると図 2.2.8 のようになる。図からわかるように残像についてはビジコンは 2 グループに分かれる。A グループの数十秒に達する長時間残像は、焼付と呼ばれる現象で、容量性残像などの短い残像とは異った原因によると考えられる。低速、標準両走査時の残像の相関については、A グループではある程度比例的な関係が認められるが、残像の短い B グループでは相関性はないといえる。低速走査用ビジコンの選択にあたっては、標準走査時の残像が特に多いもの、焼付傾向のあるものは避けることが必要である。

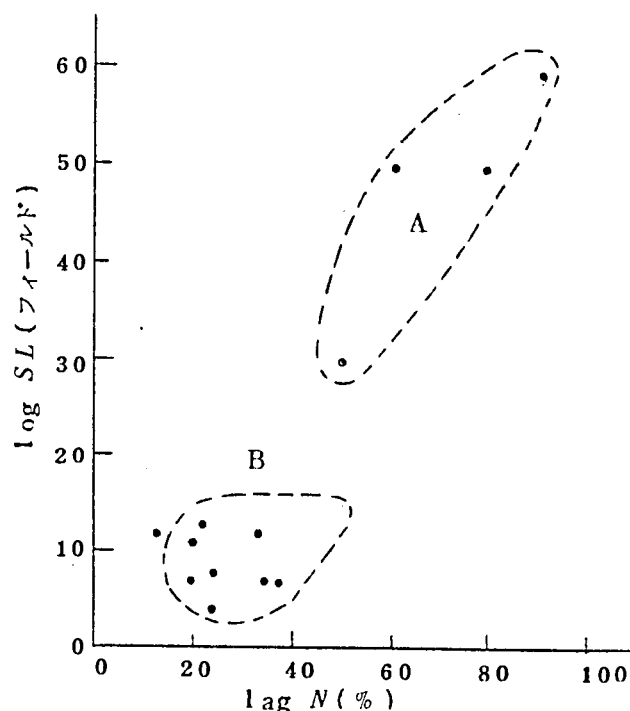


図 2.2.8 残像特性の比較

(3) ビジコン・ターゲットの時定数の測定

前節で述べたように、ビジコンの信号電流の特性はビジコン・ターゲットの時

定数によってかなり左右されるので、その値を知ることは低速走査に対するビジコン動作状態を知る上に大いに有用である。ここでは筆者の試みた時定数の測定法を紹介し、その測定結果と検討を述べる。なおこのデータは既に表 2.2.4 の τ' に示してある。

(a) 時定数測定法

第 1 部第 2 章で述べたように、ビジコンの信号電極電圧 E_1 を正常動作の下で急に E_2 に減少させると、出力電流は一時的に消滅する。この消滅時間 t_d は時定数 τ と $\ln(E_1/E_2)$ に比例し、式 (1.2.11) で与えられた。

今、 E_1/E_2 の値を常に一定にする。たとえば $E_1/E_2 = 2$ とすれば式 (2.2.18) が与えられ、 t_d を測定すれば τ が求まる。

$$\tau = 1.44 t_d \quad (2.2.18)$$

なお、 τ と t_d とは上記の単純比例の関係にあるので、 t_d そのものを τ' として、 τ の目安として代用すると好都合な場合が多い。以後データとしては τ' を使用する。

測定回路は図 2.2.9 のごとくで、標準走査の条件で行ない、 E_1 としては固有信号電極電圧 E_{00} (暗電流 $0.02 \mu A$) を用い、入射光は面照度 10 lx の標準状態の条件である。膜の時定数としては、暗時のものを求めるのが望ましいが、暗時では電流変化が少なく、オシロスコープによる観測が困難であったため、止むなく明時の時定数を求めた。この結果が先の表 2.2.4 の値である。

(b) 時定数測定に関する問題

前記測定法による測定上の問題を述べる。

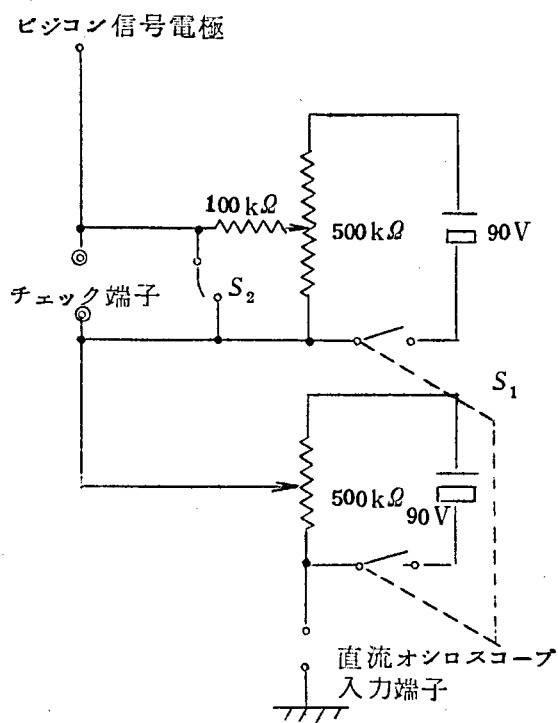


図 2.2.9 時定数測定回路

この測定法では、 τ 一定の条件では t_d は E_1/E_2 の値だけで決定されるわけであるが、果してどうか。 E_1 の絶対値の影響を調べた。

図 2.2.10 は、 E_1 をパラメータにして、 E_1/E_2 と t_d の関係を求めたものである。この結果から、 t_d はほぼ $\ln(E_1/E_2)$ に比例する。また t_d と τ の関係は、 E_1 の影響が若干あり、同じ E_1/E_2 の値に対し、 E_1 の小さい場合と大きい場合で、2 倍程度の変化が認められる。この理由は現在の所不明である。

以上のことから測定時定数はかなりの誤差が入るけれども一つの目安としては有用であると考えてよからう。

(c) 信号電流と時定数の関係

ヒジコンの出力電流は時定数の関数であり、特に低速走査の場合の信号電流に大きな影響を与えることは前節で種々述べたとおりである。ここでは表 2.2.4 に示した実験データから、時定数に関する問題を調べてみる。図 2.2.11 は両走査時における I_s/I を時定数 (τ で示す) に対してプロットしたものである。図から標準走査の場合は I_{sN}/I_N は τ に関係なく、1 に近い値をとること、低速走査の場合は、 τ が大きい方が、 I_{sL}/I_{sL} も大きくなる傾向をもつことがわかる。これは前節 2.3.1 (1), (a) の所説を裏づけるもので、図 2.2.3 を見れば容易に理解できる。

次に図 2.2.12 は、 τ と両走査時の信号電流比 I_{sL}/I_{sN} との関係をプロットしたものであ

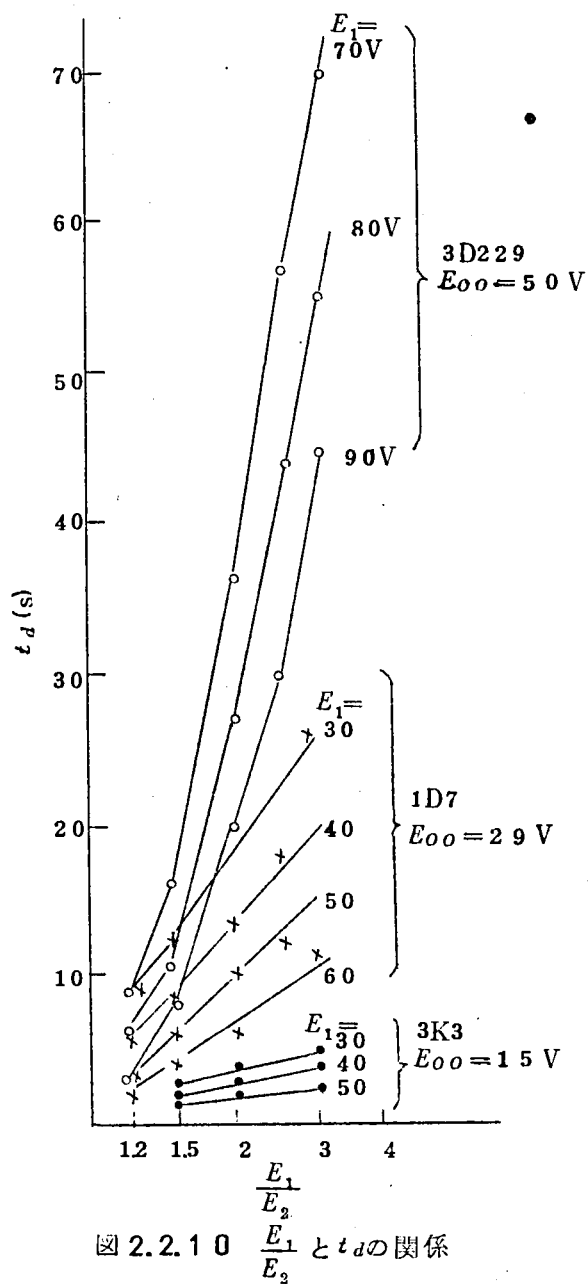


図 2.2.10 $\frac{E_1}{E_2}$ と t_d の関係

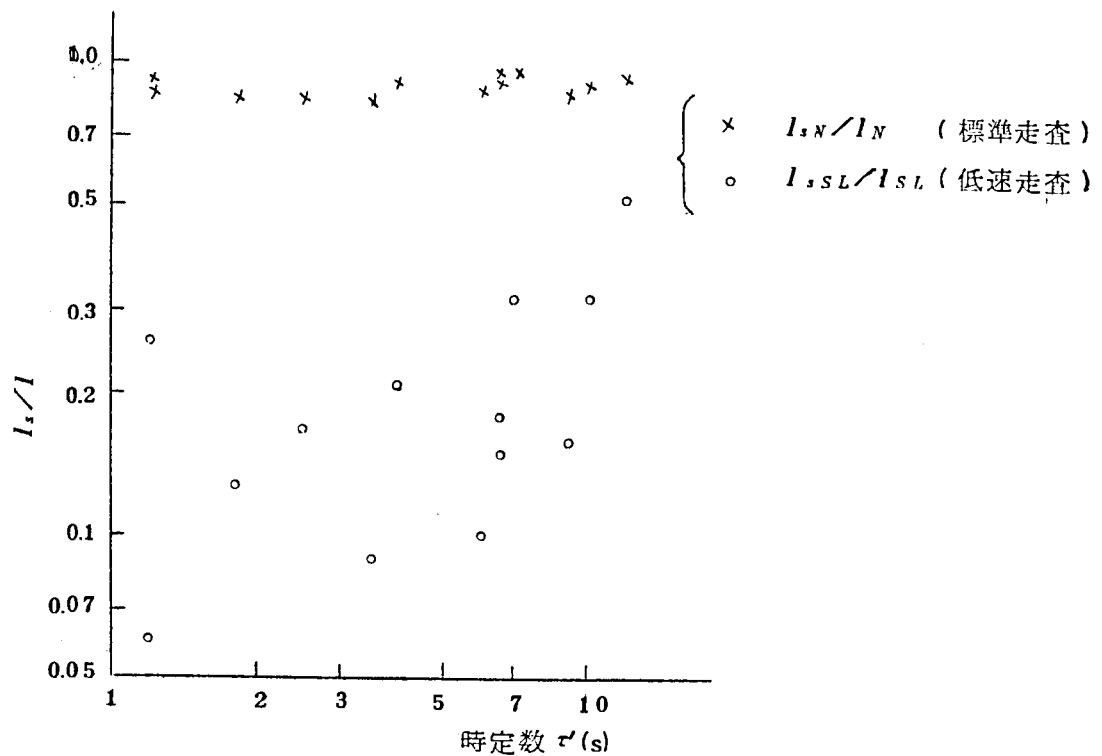


図 2.2.1 1 信号電流と時定数の関係

るが、この場合の τ' の影響は比較的少ない。2.3.1 (2) 項の式 (2.2.16) の示すように、 I_{sL}/I_N は I_{sL}/I_{sL} に比例するので、図 2.2.9 の傾向からみて、もう少し相関性が現われるはずであるが、余り顕著ではない。この実験データから言えることは、信号電流比は時定数の大きい方が若干よいが、概略としては余り関係ないと考えておくべきであろう。

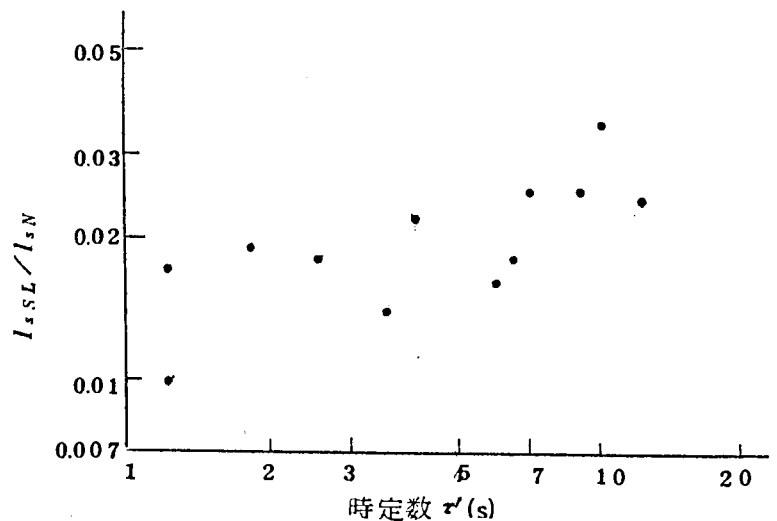


図 2.2.1 2 信号電流比と時定数の関係

(4) ビジコンの各種変換特性

(a) 信号電極電圧対出力電流特性

測定結果の一例を図 2.2.1 3 に示す。図の実線は低速走査時、点線は標準走査時のものである。信号電流 I_s の () 内はレンズ絞り値を示す。図から低速走査時の方が標準走査時より暗電流は大きく、信号電流は小さくなること、また特性の傾斜 β も小さくなることがわかる。

これらのことは低速走査の場合、信号電極電圧を増しても標準走査の時ほど感度増加の効果が期待できず、また暗電流のより大きな急増のために画質劣化の程度が大きくなることを意味する。実際動作の信号電極電圧の設定に当っては上記の事項を十分考慮する必要がある。

(b) 光電変換特性

光電変換特性の一例を
図 2.2.1 4 に示す。

この実験では、両走査
に対し、同一の信号電
極電圧 E_{00} を与えてい
る。図から低速走査時
の信号電流の低下がは
っきりわかるが、この
他、時定数の小さい方
が感度低下の割合が大
きいことや、低速走査の
場合、高照度時の r が
低くなる傾向等が認め
られる。

(5) 画質について

(a) 解像力

解像力については特
に高解像力を必要とす
る場合は別であるが、
全体として余り問題は
ない。ただビーム特性
やシェーディング、アラ
イメントの良否が特に
周辺解像力に大きく影響する。

(b) 画 質

画質に影響するのは、シェーディング、きず、むら、さざなみ、ビーム割れ等がある。シェーディングは低速走査の場合は非常に悪影響を与える。残光性受像管のラチチュードがせまい関係もあり、僅かなシェーディングもシェーディング補正なしには良好な映像が得られない。またこれに関してアライメントの影響も大きい。きず、むらについては標準走査時と同様に画質に影響する。特にザラといわれる面状態の荒れは好ましくない。さざなみ、メッシュ模様等は低速走査の場合のはっきりした縞状静止模様として現われるので、標準走査の時よりも影響が大きい。この他ビーム不良の諸現象がはっきり映像に現われるので、ビーム設定が容易に決定できるとい実用上の利点もあるが、同時に真空度やビーム特性の悪い管は低速走査には使用できないといえる。

以上全般的に画質に関しては、標準走査よりも低速走査の方が条件はきびしい。特にシェーディングと異常現象は救い難いので、アライメントの良い、面状態の良い管を選定する必要がある。

参考までに低速走査時の各種映像写真を図 2.2.1 5 に示す。

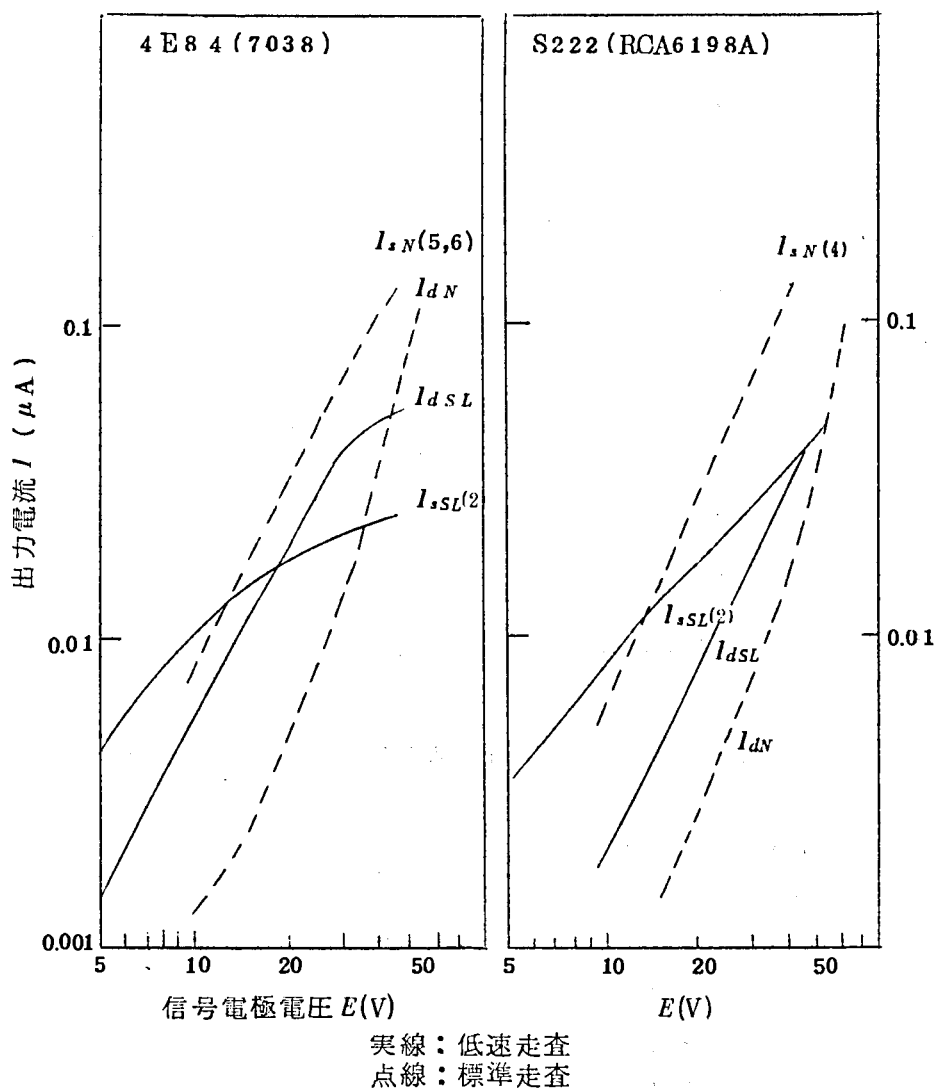


図 2.2.1 3 信号電極電圧—電流特性

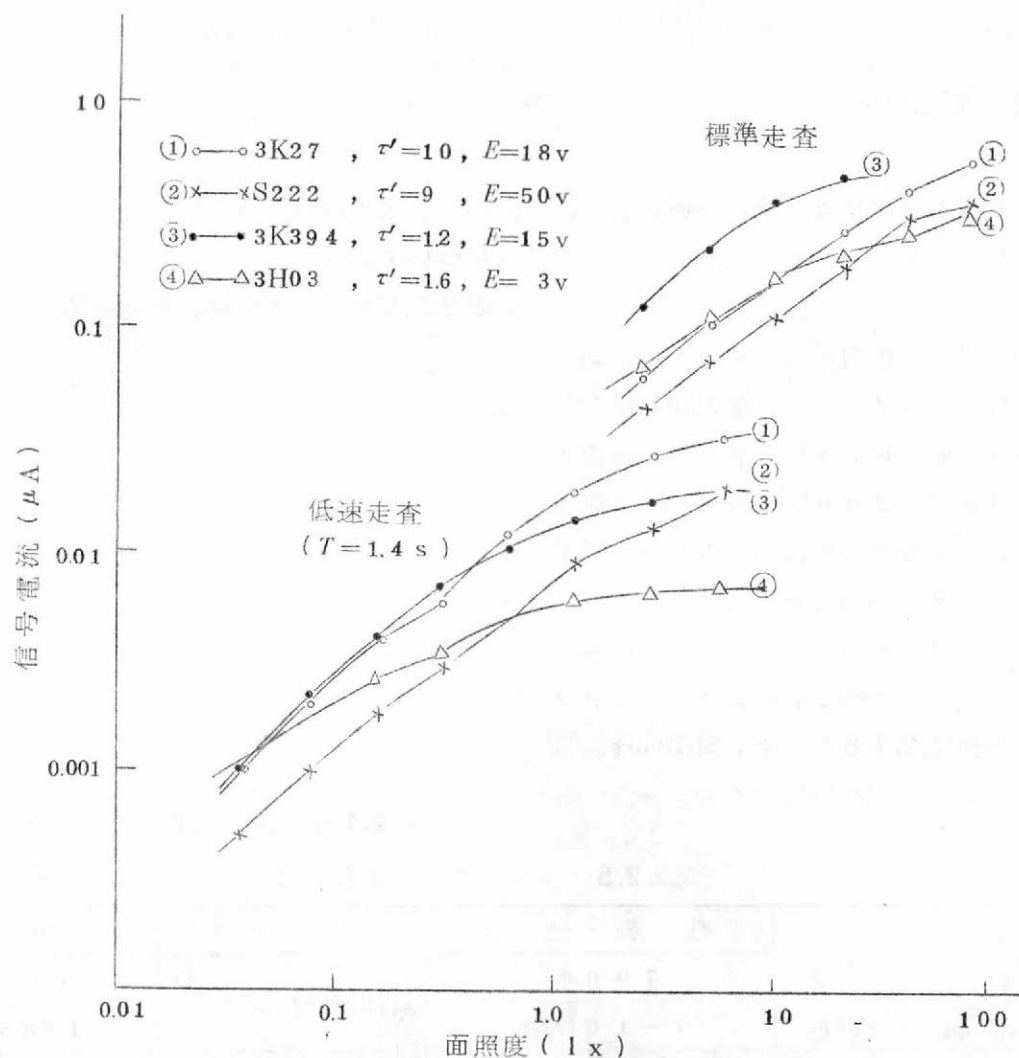
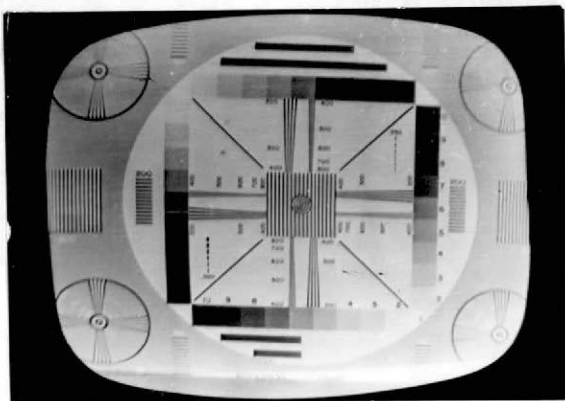
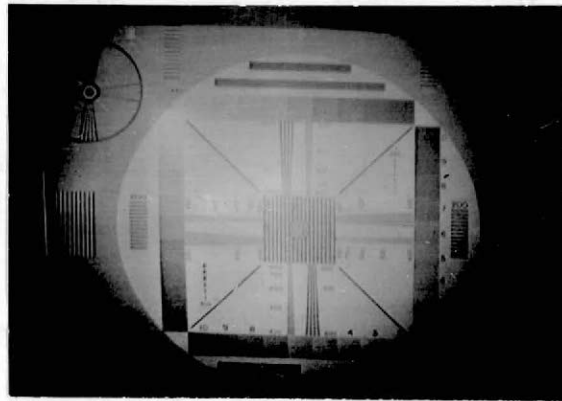


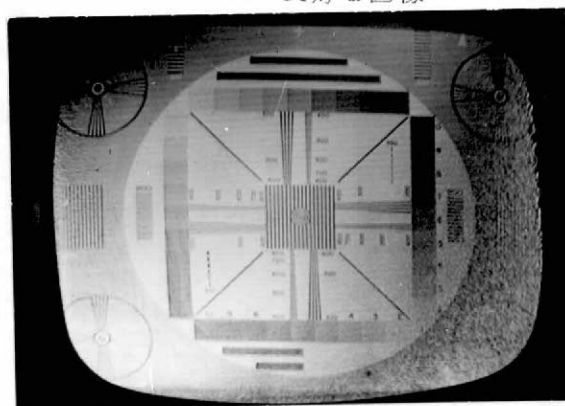
図 2.2.14 光電変換特性



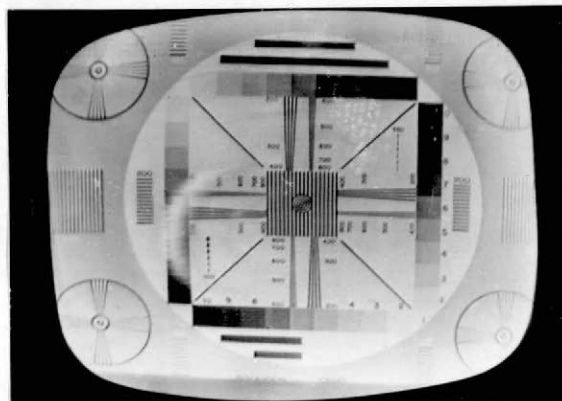
(a) 良好な画像



(b) シェーリングや面荒れの目立つ例



(c) さざなみ現象の例



(d) ビーム不良の例

図 2.2.15 低速走査時の映像画質の諸例

2.4 低速走査形カメラの実験試作

低速走査形テレビカメラの一例として、先に述べた気象衛星用を目的としたAVCS形カメラ（フレーム時間 6.5 秒）のモデル試作の結果について述べる。

まず図 2.2.1 6 に試作カメラの外観を示し、表 2.2.5 に各種の仕様、性能を示した。

カメラのビデオ出力を直接モニタで観測す

ると、解像本数 700 本、被写体照度

7.0000 lx、レンズ絞り $f=2$ 、露出 2

ms で S/N は 20 dB（雑音ピーク値）

であり、一応良好な画像が得られた。図

2.2.1 7 はその一例である。

こゝでカメラの各構成要素と試作内容の

特徴的な事項を述べる。参考までにカメラ

回路図を図 2.2.1 8 に示す。同図(a)は映像

増幅回路、(b)は偏向回路である。

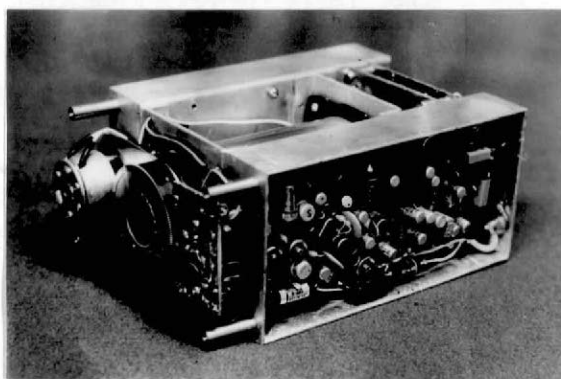


図 2.2.1 6 試作低速走査形カメラの外観

表 2.2.5 カメラ性能および仕様

項 目		仕 様 性 能	項 目		仕 様 性 能
画 質	解 像 度	7 0 0 本	偏向回路	偏向周波数	H 1 2 0 H z
	階 調 分 解 能	7 ~ 1 0 段階			V 1 / 6.5 H z
	S / N	2 0 d B		帰線期間	H 0.0 5 H
					V 0.0 1 5 V
映像増幅回路	帯 域 幅	1 / 6.5 H z ~ 6 0 k H z	重 量		2. 2 k g
	利 得	3 5. 5 d B	寸 法		1 3 0 × 1 8 0 × 8 5 m m
	出 力 信 号	映像 + 0.5 V p p , 同期 - 0.4 p p ペデスタル + 0.1 V p p	電 源		+ 1 2 V . 1 0 V . 6.3 V . - 1 0 0 V . + 3 0 0 V
	出力インピーダンス	2 0 0 Ω	電 力		7. 8 W

(a) 映像増幅回路：ビジコン負荷抵抗と

して 1 MΩ を設定し、初段増幅回路は高入力インピーダンス、低雑音の FET を用いた。回路の特長としては、IC を高域補償用に 2 個、直流再生および帰線消去信号、同期信号の混合に 1 個使用し、小形化を計ったことである。

(b) 偏向回路：特に問題は少ないが、垂直偏向回路のミラー積分回路に高利得 IC を 1 個使用している。

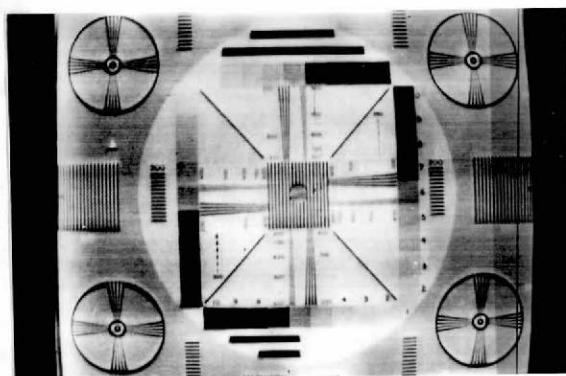


図 2.2.1 7 映像写真

フレーム時間：6.5 s

露出時間：2 ms, F1.8

被写体照度：20.0000 lx

使用ビジコン：GEC1368

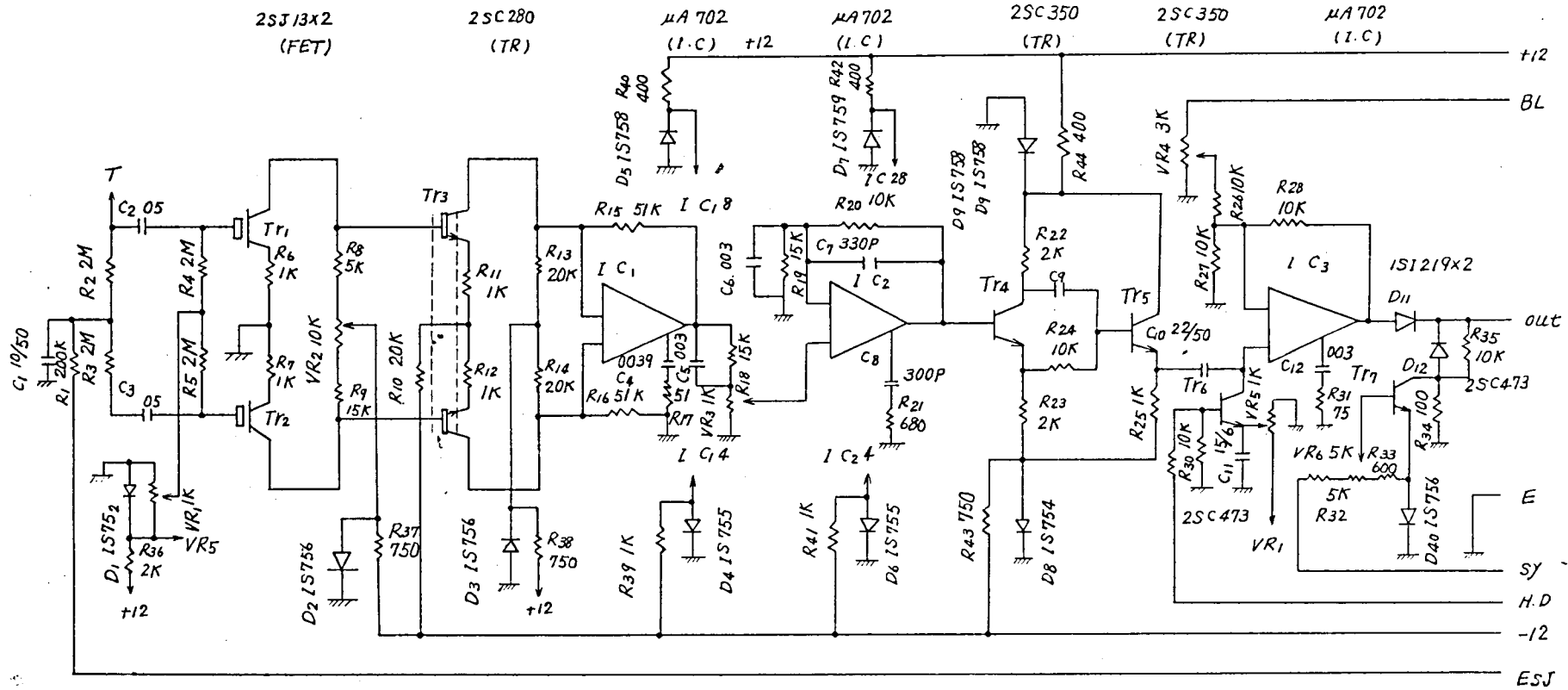


图 2.2.18(a) 映像增幅回路

(c) シャッタ：レンズシャッタをロータリ・ソレノイドでパルス駆動した。設定露出時間は 2 ms および 40 ms とした。

(d) 残像消去用フラッシュ：ビジコン面に近接してリング状のクセノン・フラッシュランプを設置し、1 フレームの信号取出後、このランプを点火してビジコンに一樣光を与え、残像消去を促進することを試みた。しかし高感度の低速走査用ビジコンの場合、暗電流レベルの増大という逆効果を生ずることが判明し、最終的には中止した。

最後にビジコンの問題について述べる。本カメラ用のビジコンとして、当初三硫化アンチモン (Sb_2S_3) 形の普通のビジコンを種々選択し、試験した。これらのビジコンは連続露出に対しては良好な動作を示すが、短時間露出 (2 ms) に対しては信号が不足し、満足すべき画像品質が得られず、低速走査専用の特殊ビジコン、GEC-1368 によって一応良好な画像を得た。

本カメラを用いて測定したビジコンの光電変換特性を図 2.2.19 に示す。図中実線は GEC-1368、点線は普通ビジコンの一例である。図からわかるように、GEC-1368 は低速走査に適した性能をもっており、感度が高い。しかしこの管のもっとも特長的なことは、短時間露光時の感度が普通のビジコンに比して著るしく高いことである。比較した普通のビジコンは標準走査ではすべての点で GEC-1368 より優れており、低速走査でも連続露光の場合には一応使用できる性能をもっていたが、短時間露出に対しては無力であった。光に対する信号の

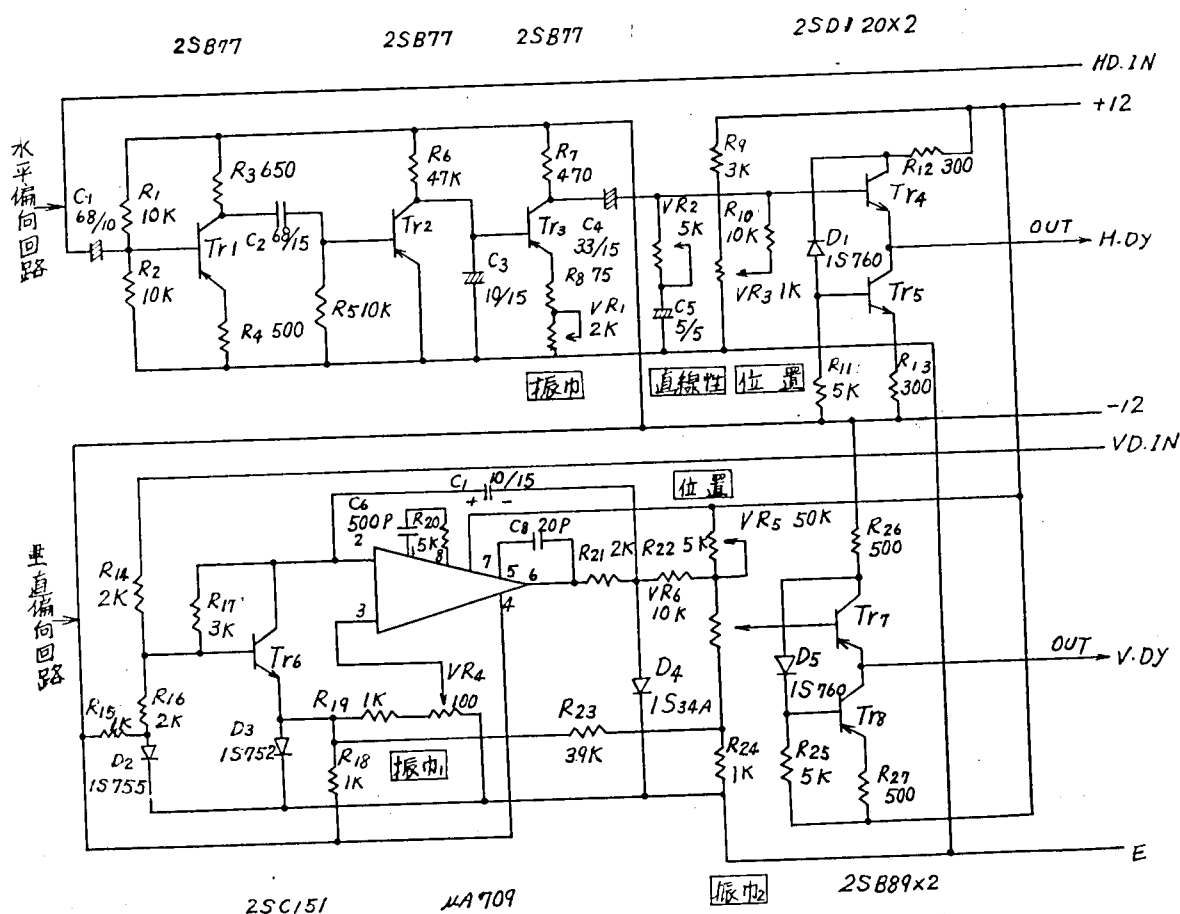


図 2.2.18(b) 偏向回路

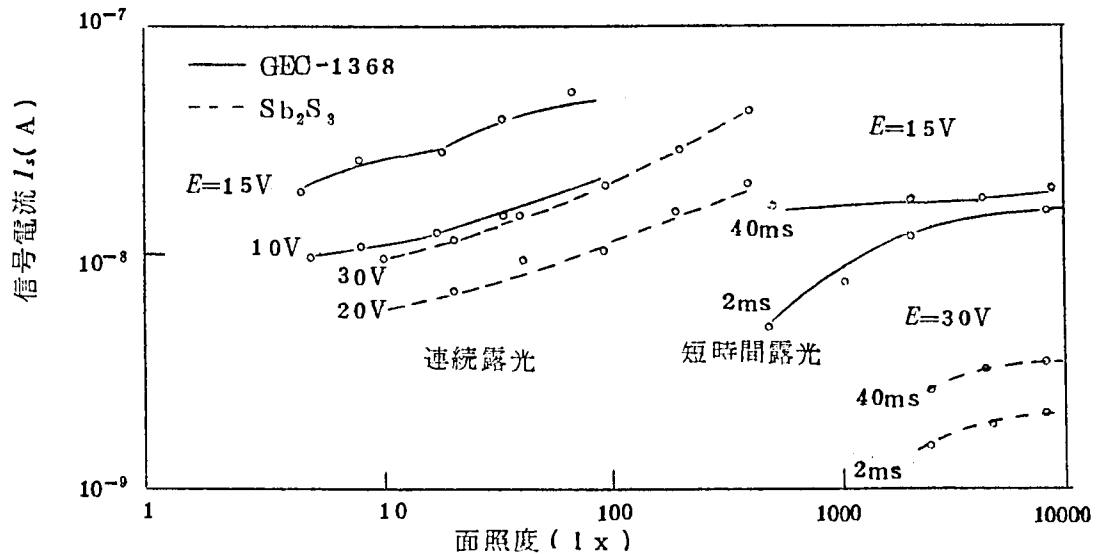


図 2.2.19 ビジコンの光電変換特性

立上り特性の影響が大きいと考えられるが未だあきらかでない。

2.5 まとめ

低速走査形カメラは狭帯域テレビの中心課題であり、目的とする閉回路テレビシステムに適合する種々の形態のものが試作され、使用されている。本章は筆者が開発した2種類の低速走査カメラを例にとって、方式設計の考え方、使用するビジコンの問題点を述べ、最後に低速走査カメラシステムの全体の試作例を紹介したものである。すなわち、最初の基本設計の節では、連続撮像か、間欠撮像かによってシステムを大別し、与えられた周波数帯域と所要解像力から方式諸元を決定する手順を示した。

次のビジコン特性の検討の節では、ビジコン信号電流の基本式から、低速走査に関するフレーム時間とビジコン時定数の関係を抽出し、有効な撮像を行なうための諸条件を明確にした。

ビジコンの暗時時定数 τ_d をフレーム時間 T より大きいように選ぶことが望ましいこと。信号飽和を生じないよう入射光量を制限する必要があること、負荷抵抗の増加により信号電流は減少しても S/N はある程度良好に維持できること、が示された他、実験結果をも含めて標準走査と低速走査に対する特性間の関係がかなりあきらかになった。これらのデータや指摘事項は、低速走査カメラに供給するビジコンの選定に非常に有用なものである。

最後の低速走査カメラの例として気象衛星用カメラの試作結果と得られた性能レベルを示した。

以上テレビカメラの重要な応用である低速走査カメラについて論じたが、低速走査カメラとしては、将来はビジコン自体をメモリとする単純形式から、別の専用メモリを組合わせた方式へと発展がなされるのではないかと考えられる。これは本章で述べような低速走査に対するビジコン特性の制約を克服する以外に、帯域圧縮等の処理の可能性も期待されるからで、方式設計の自由度や性能、感度の向上が可能となろう。ただまだ簡易安定なフレームメモリが得られていないので、当分はなお本章で述べたような方式の各種の低速走査カメラが色々と開発され、使用されてゆくものと考えられる。

第 2 章 の 参 考 文 献

- (1) 日比：テレビ誌，22(1968)，767-772
“産業用テレビジョンカメラ装置”
- (2) 熊谷：テレビ誌，21(1967)，314-321
“通信サービス網とテレビジョン電話”
- (3) 丹羽：テレビ誌，22(1968)，270-279
“宇宙観測用テレビジョン装置”
- (4) L.R.Malling：IEEE Trans. COM-15. (1967-Dec)，5
“Data Considerations for Planetary Space Science Photography”
- (5) 本間，近藤：テレビ誌，22(1968)，38-45
“ビジコンカメラを用いた写真伝送機”
- (6) 伊藤，佐竹，大野：第3回テレビ学会全国大会予稿，13-1. (1967)
“赤外線撮像装置”
- (7) 日比，江藤，三友，柿崎，佐野，水野：第3回テレビ学会全国大会予稿，13-3 (1967)
“人工衛星搭載用テレビシステムモデル試作”
- (8) 日比，江藤，三友，柿崎，佐野，水野：電子通信学会宇宙航行エレクトロニクス研究会，
ANE67-13 (1967)
“気象衛星搭載用テレビ装置モデル試作”
- (9) A.V.Balakrishnan：Advances in Communication Systems，Academic
Press (1965)
- (10) M.H.Mesner：Electronics 38 (1965-5-17) 10, 70
“Television toughest challenge”
- (11) テレビジョン工学ハンドブック，6-11，オーム社 (1969)
- (12) C.T.Shelton，H.W.Stewart：Jl SMPTE，67 (1958) 441-451
“Pickup Performance with Slow Scanning Rates”
- (13) F.F.Martin，C.T.Shelton：Electronics，34 (1961-6-9) 101-103
“Modifying Vidicon Camera Claim for Slow Scan Television Systems”
- (14) H.E.Ennes：Electronics，(1956-11) 140-143
“Slow Sweep TV for Closed Circuit Use”
- (15) C.Macdonald：Electronics，35 (1962-5-11) 104-107
“Slow Scan TV Vidicons Developed”
- (16) 宇和：電子技術，6 (昭39-2) 73-79
“ビジコンを直接低速走査した狭帯域 I T V 装置”
- (17) 中野，竹田，安松谷：テレビ誌，18 (1964) 229-236
“低速走査方式テレビジョンの一考察”

第3章 テレビ電話用カメラ

第3章 テレビ電話用カメラ

3.1 まえがき

従来公衆通信としては電話がほとんど唯一のものであったが、近年社会の発展、情報量の増大に伴って画像通信への期待は急速に高まり、昔からの夢であったテレビ電話もすでに実用化が開始されようとしている¹⁾。テレビ電話が今日まで普及しなかった理由の一つは、テレビ信号が音声信号に比し、あまりにも広帯域の伝送路を必要とし、コストの面で実現が困難であったからである。しかし最近の技術の進歩によって、安価なテレビジョン多重伝送路の可能性と見通しが得られるようになり^{2) 3)}、さらに市内伝送路も通常の市内ペアケーブルで、音声1回線、映像の送受信にそれぞれ1回線ずつ計6本の心線を使用することにより、1MHz程度のテレビ信号は十分に伝送し得ることがあきらかとなった^{4) 5)}。このように伝送路の見通しがつくと次はテレビ電話端末機の開発が要請されることになる⁶⁾。テレビ電話は使用者が特別の知識をもたない人であり、使用場所も千差万別であるため、一般のITVカメラとモニタの組合わせとは違った種々の機能が要求され、ここに研究課題が生ずる。筆者はテレビ電話端末機の開発に当り⁷⁾、中心光量制御による画質改善と電子ズーム機能の導入を提案、実施したが^{8) 9)}、これは我が国初めての試みであった。

本章は上記テレビ電話の特にカメラを中心とした開発研究の内容について述べたものである。

3.2 テレビ電話用カメラの設計

(1) 基本設計

テレビ電話は一般家庭にまで普及されるべき性質のものであるから、使用者にいささかの不快感も与えてはならない。テレビ電話の方式設定の問題は、まずフィールド数、フレーム数と走査線数の決定であるが、前者についてはフリッカの点から標準テレビと同様の60フィールド、30フレームにえらぶのが常識である。次の走査線数については、受像機の画面サイズとの関連で選択する必要がある、まず画面サイズを決めねばならない。

テレビ電話の標準使用状態は、机上設置で、通常の事務機の場合、人物と受像機との距離は75~125cmの範囲と考えてよいであろう。ブラウン管サイズは9形以下でないと机上がせまく感じられるが、実用上下限があり、5~9形の範囲で選択するのが妥当であろう。また、画面の走査構造が目立つと不快感を与えるので、画面サイズに応じて走査線数を選ぶ必要がある。

線構造が目立たないための走査線間隔は、視

表 2.3.1 有効走査線数、視距離と
ブラウン管最大縦寸法
(単位cm)

視距離 \ 有効走査線数	75	100	125
170本	7.4	9.8	12.4
250本	10.9	14.5	18.2
300本	13.0	17.4	21.3
500本	21.7	29.0	36.3

力1.0の人を標準と考えれば視角にして約1分と推定されるが、かりに2分まで許容できるとすると、走査線数、視距離と、画面縦寸法の関係は表2.3.1に示すとおりである。

走査線数を決定する要因の一つは映像信号の帯域巾である。走査線数と映像帯域巾との関係は、既に2.2章で述べたように、式(2.2.1)で与えられる。こゝで標準方式にならって $K=0.7$, $W/H=4/3$, $x=0.83$, $y=0.93$, $T=1/30S$ とした場合の、2:1完全インターレースを行なうために必要な代表的走査線数と最高周波数を計算すると表2.3.2のようになる⁷⁾。

以上の検討から、一例として使用者が画面にやや接近した姿勢を考え、視距離として75cmをとると、有効走査線数250本、アスペクト比4:3の横長画面では、ブラウン管は7形がよいこととなる。また、この場合の映像最高周波数は、表2.3.2より1.0~1.2MHzとなる。

(2) 使用条件に対する考慮

テレビ電話機を机上に設置したとき、対話中の人像を適確に写角に収めるよう構造寸法を考えてみる。図2.3.1は標準の家具を使用した場合、机上設置テレビ電話による通話状態の一例である。日本人の座高は男子平均が約90cm、女子平均が約83cmであるが¹⁰⁾、通話状態では座高の測定状態より7~10cm低くなることを考慮してカメラの光軸を決めなければならない。

表2.3.3はレンズの焦点距離と撮像範囲の関係を示すもので、撮像距離が75~125cmの場合には、1インチビジコンを用いると、20~25cmの焦点距離をもつレンズが対話用として適当な写角を持つと考えられる。しかし、これはちょうど適切な位置に人物がすわっている場合であって、座高による差や対話中の人物の動きを考えると、より広角なレンズが望ましい。

一方、あまり広角のレンズを使用すると、人物像が小さくなり、顔の部分に対する解像度が低下するから、理想的には、ズーミングや上下左右の追従を行なう必要が生ずる。なお、通話する直前か、または通話中に自分の撮像状態を確認するため、受像機へ自像を写し出してみるモニタ機構や凸面鏡などを映像部に設けておかなければならない。

表2.3.2 走査線数と所要映像最高周波数
(毎秒像数30枚)

走査線数	逡降倍率	映像帯域幅(kHz)		
		$\frac{W}{H} = \frac{3}{4}$	$\frac{W}{H} = \frac{1}{1}$	$\frac{W}{H} = \frac{4}{3}$
175	7×5×5	270	360	480
189	9×7×3	320	420	560
225	9×5×5	450	600	800
245	7×7×5	530	710	940
275	11×5×5	670	890	1.190
315	9×7×5	880	1.170	1.560
363	11×11×3	1.170	1.550	2.070
405	9×9×5	1.450	1.940	2.580
441	9×7×7	1.720	2.300	3.060
495	11×9×5	2.170	2.890	3.850
525	7×5×5×3	2.440	3.250	4.330

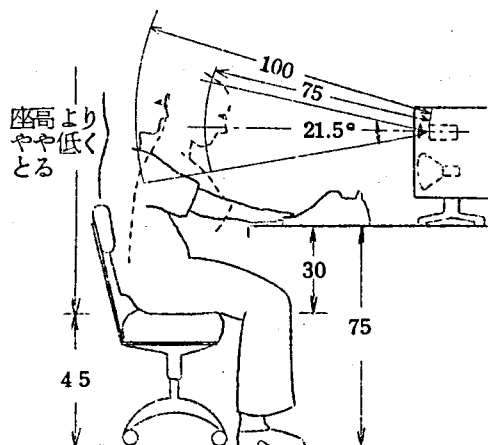


図2.3.1 テレビ電話による通話状態図

次に、テレビ電話の使用条件に関しては、照明の問題が重要であり、種々の照明条件下の動作に対して、適切な感度補償が必要となる。これについては次項で述べる。

表 2.3.3 レンズの焦点距離と撮像範囲
(ビジコンの走査面積を $12.7 \times 9.6\text{mm}$ として)

レンズ焦点距離 (mm)	物点距離 (cm)	撮 像 範 囲 (cm × cm)	対角線写角	被写体深度(F1.9, 散乱円径 0.1 mm) (cm)
32	125	48.5 × 36.5	27° 60′	153 ~ 102
	100	38.5 × 29.0	27°	122 ~ 85
	75	28.5 × 21.5	26° 40′	86 ~ 66
25	125	62.5 × 47.0	34° 40′	201 ~ 91
	100	49.5 × 37.0	34° 20′	142 ~ 77
	75	37.0 × 28.0	34°	96 ~ 61
15	125	104.5 × 78.5	55° 10′	∞ ~ 62
	100	83.5 × 62.5	55°	665 ~ 55
	75	62.5 × 47.5	54° 50′	202 ~ 45
13	125	121.0 × 90.5	62° 20′	∞ ~ 53
	100	96.5 × 72.5	62° 10′	∞ ~ 48
	75	72.0 × 54.0	62°	48 ~ 40

3.3 中央測光方式による自動光量制御

テレビ電話の使用条件に関しては、照明の問題が極めて重要である。テレビ電話は比較的暗い室内から明るい窓ぎわでの使用を含めると余裕をみて $100 \sim 20000 \text{ lx}$ の照度範囲における適応性をもつ必要がある。さらに、逆光などのきびしい照明条件のもとでも良好な人物像を送像できるような対策が望ましい。このためには、特殊な自動制御機構が必要となるが、筆者は中央測光方式による自動光量制御機構を採用した。この方法は、第1部第2章で述べたビジコン信号電極電圧を制御する方式と異なり、レンズ絞りを制御する方法であるが、その特長は画面の中央部すなわち人物像の場合、ほぼ顔の部分に相当する映像出力で光量を制御するものである。

ビジコンのレンズ系にはモーターで制御される機械絞りを設け、モーターの回転により絞りが F 1.4 ~ F 2.2 の範囲にわたって変えられるようにした。ビジコンの出力はビデオ増幅器により所定のレベルまで増幅され、クランプされたのち、ゲート回路により画面中央部の $1/3 \times 1/3$ に相当する信号のみが抜き取られる。この信号の平均値が一定の値となるように回路を動作させることにより、画面中央部以外にいくら強い光がはいっても、これにより自動光量制御は動作せず、常に顔の部分は一定の明るさを保つことができる。測光範囲の形状および面積は、設置場所の照明条件、使用者の動作範囲等を考慮して最適となるよう設定しなければならないが、上記範囲で特に実用上の不都合は感じられない。

図 2.3.2 に各部の波形を示す。図 2.3.3 はこの自動制御の特性を示すもので、 $100 \sim 20000 \text{ ルックス}$ の照度範囲にわたり良好な動作が得られている。参考に後で述べる 2 倍電子ズームを行なった場合の特性もあわせて示す。

図 2.3.4 は、この制御機能の効果を示す一例で、窓を背にしたときのように、人物の背景が明るい場合の映像例である。同図(a)は普通の自動光量制御方式、同図(b)は中央測光を用いた本

方式の場合のモニタ像であり、その効果が明白に示されている。

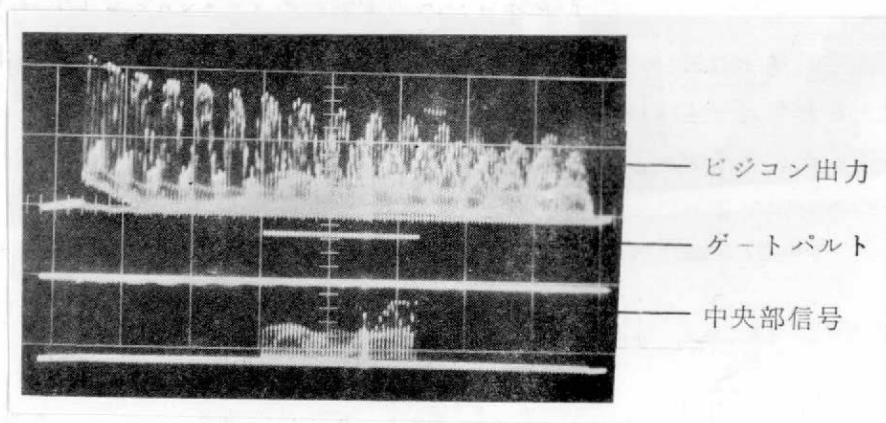


図 2.3.2 各部波形 (1 フィールド期間)

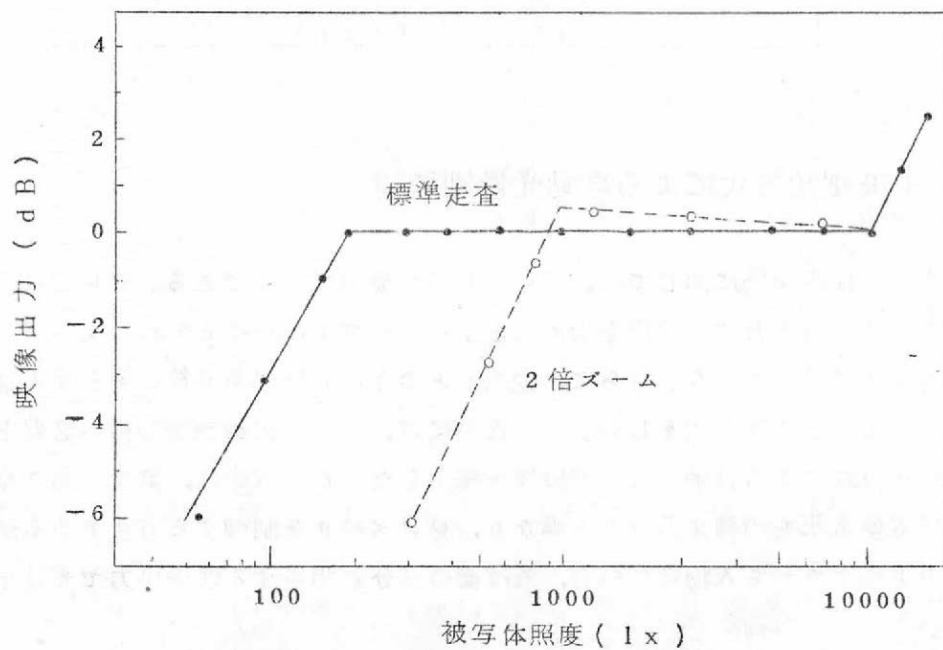


図 2.3.3 自動光量制御特性



(a) 一般の方式



(b) 中央測光方式

図 2.3.4 中央測光自動光量制御の効果

3.4 電子ズームに関する検討

テレビ電話の書画送りの場合、周波数帯域の制限による解像力不足が大きな問題となり、部分視野の拡大すなわちズーム機能の付与が期待されている。そこで試験的ではあるが、電子ズーム機能を導入した。電子ズームの問題点は、ビジコンの焼付と感度低下であるが、特定のビジコン使用条件の設定により、実用上支障なく動作させることが可能であることを見出した。

また、ズームを行なった場合と行なわない場合について文字了解度の実験を行ない、ズーム効果を確認するとともに、ロールオフフィルタの除去挿入により周波数帯域の制限による了解度の劣化についてもあわせて検討した。

以下、電子ズーム回路の問題点、試作機のズーム特性および文字了解度試験の結果について述べる。

3.4.1 電子ズームとビジコン特性

(a) ビジコンの感度

入射光量を ϕ_0 としたとき、標準走査面積を走査して得られる信号電流を I_0 とすれば、 n_z 倍のズームを行なったときの信号電流 I_{nz} は、このときの入射量を ϕ_{nz} として、

$$I_{nz} = \frac{1}{n_z^2} I_0 \left(\frac{\phi_{nz}}{\phi_0} \right)^r \quad (2.3.2)$$

と近似できる。したがって、ズームを行なっても信号電流を一定に保つためには、ズーム率を大きくするにしたがって入射光量を増さなければならない。本機ではこの操作は先に述べた自動光量制御で自動的に行なわれる。しかしながら、レンズの明るさできまる照度条件以下の入射光量に対しては、信号電流はビジコンのガンマ特性にしたがって低下する。この様子はすでに図2.3.3に示した。現在のビジコンではズーム率を2倍まで考えると若干感度が不足しており、被写体照度100ルクス程度の場合実用上支障はないと考えられるが、雑音が目ざわりになる。低照度条件で完全に電子ズームを行なうためには、高感度の撮像管を使用する必要がある。

(b) ビジコンのラスト焼付

Siターゲットビジコン¹¹⁾では従来ビジコンの欠点であった焼付を解決し、電子ズームを可能にしたといわれている¹²⁾が、 S_b, S_s をターゲットとする普通のビジコンがラスト焼付がひどくまったく電子ズームの使用に耐えないものかどうかを実験により調査した。

最初に、図2.3.5に正規走査の場合、アンダスキャン(2倍ズーム)の場合およびその変化の直後におけるラスト焼付の映像例を示す。図(c)の中心部に黒く残っているのがラスト焼付である。この写真はアンダスキャン時間5分後に正規走査にもどし、ほぼ0.5秒後に撮影したもので、数秒後のラスト焼付はこれよりはるかに軽減され、写真撮影が困難な程度になる。

図2.3.6に7735Aおよび7038の信号電極電圧を変化させたときのラスト焼付消滅時間を示す。縦軸の正の方では焼付が黒く残るいわゆるネガ焼付が現われ、負の方向ではポジ焼付が現われる。実験によれば、ネガ焼付はかなり程度の悪いものでも数10秒で消滅するが、ポジ焼付は数分以上消滅せず実用上使用に耐えない。測定条件は、アンダスキャン時間1分間、光量は正規走査で $0.2\mu A$ の信号電流が得られる値である。図2.3.6から7735Aは、固有電極電圧近くで動作させると(これがほぼ正常の使用条件)ラスト焼付は比較的小さいことが分

かる。たゞし信号電極電圧を高くすると急にボジ焼付の領域に入り、ズームは困難となる。また図に示したデータから明らかのように、7038 は一般にラスト焼付が大きく、ズームには適していない。

次にアンダスキャン時間とラスト焼付の関係を調べたのが、図 2.3.7 である。7735A の場合、5 分程度まではラスト焼付は変わらないが、それ以後は管によって単調増加するものと、ほぼ一定値に止まるものに分れる。後者は一般に高感度管に多く、使用上からは好都合である。図 2.3.8 は信号電流とラスト焼付の関係を求めたもので、信号電流は正規走査時の値である。これから信号電流が $0.2\mu A$ を越すと急激にラスト焼付が増すことが分かる。余り大きい光量の下でズームを行なうことは望ましくない。

以上の実験結果から、焼付の評価法、ばらつき等今後なお検討を要する問題は残されているが、7735A を選択し、標準使用状態で動作せしめれば、電子ズームが可能であり、実用し得るとの結論が得られた。

3.4.2 電子ズームの方式と効果

(a) ズーミング回路

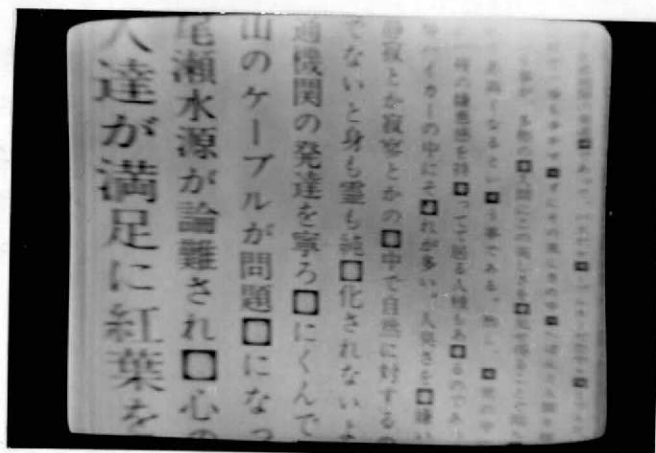
ズーミング回路方式としては、図 2.3.9 に示したように、

(i) 偏向振幅を変化する方法

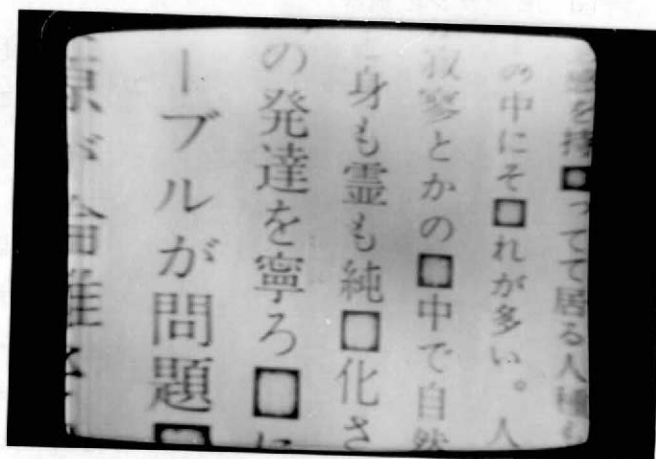
(ii) 集束条件を変化する方法

が考えられる。(i) は連続可変が可能であり、回路も比較的簡単である。(ii) は連続可変はむづかしいが、ズームを行なった場合に集束条件がよくなるため、解像度が向上するという利点がある。

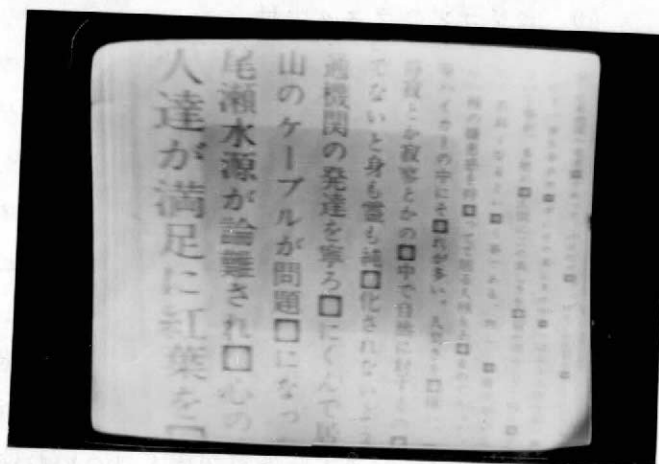
図 2.3.10 にズーム率とこれに必要な集束条件の一例を示す。



(a) 正規走査



(b) 拡大 (2 倍)



(c) ラスタ焼付

図 2.3.5 書画送り画像例とラスタ焼付

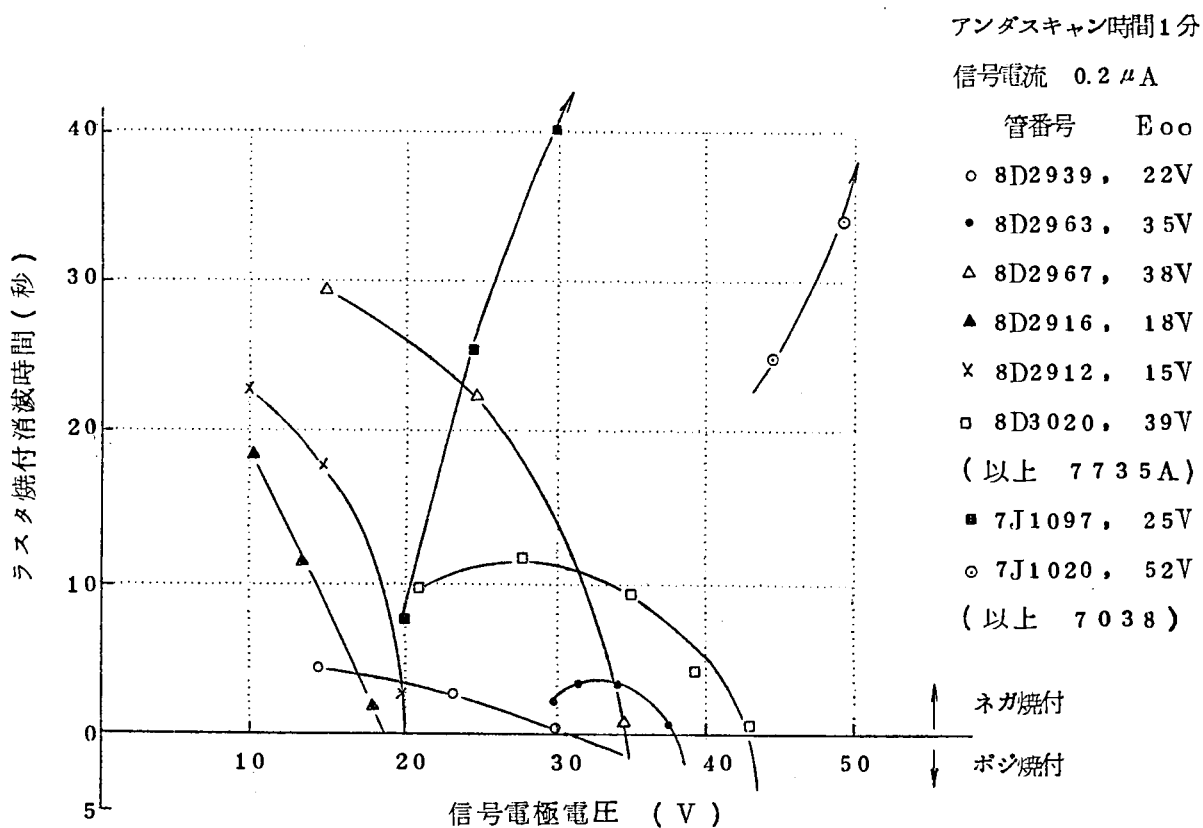


図 2.3.6 信号電極電圧とラスター焼付

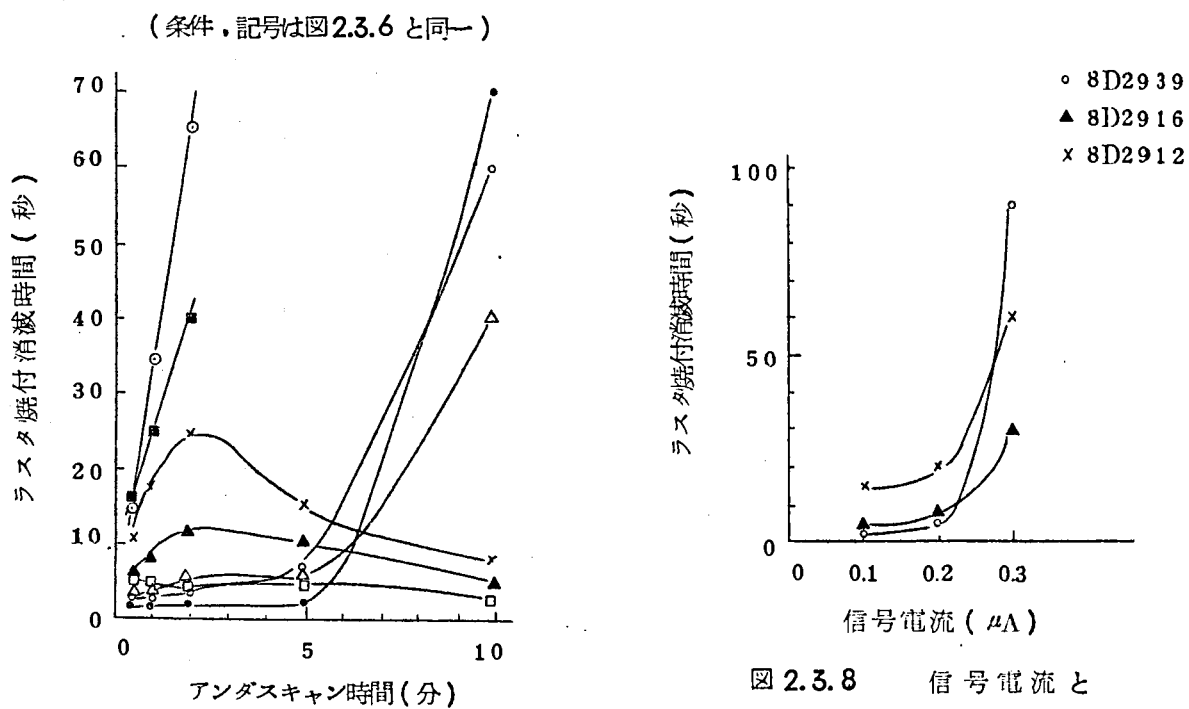


図 2.3.7 アンダスキャン時間とラスター焼付

図 2.3.8 信号電流とラスター焼付

(b) ズーミングによる解像度の改善特性

上記(i), (ii)の各方法でズーミングの実験を行ない、変調度特性、解像度等をロールオフフィルタを挿入した場合としない場合について測定した。以下に代表的データを示す。

まず、ビジコンのターゲット電極から受像ブラウン管のカソード電極までの総合周波数特性を図 2.3.11 に示す。

ズーミングを偏向で行なった場合の変調度特性をズーム率をパラメータにし図 2.3.12 に、また、集束ズームと偏向ズームの変調度の差を図 2.3.13 に示す。最後に、各ズーム方式でズーム率を変化させた場合の解像度の変化を図 2.3.14 に示す。

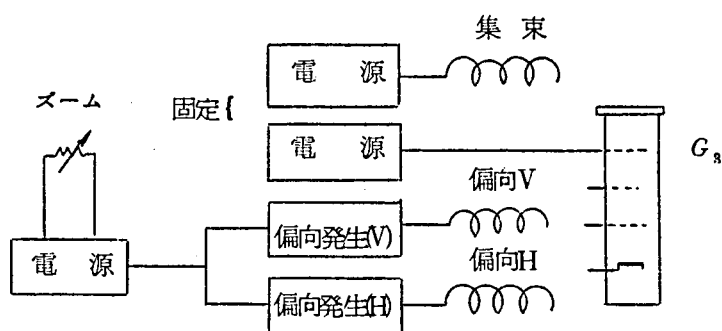
これらの図から、ズームによる解像度の改善効果はあきらかに示されており、集束ズームの方が偏向ズームより解像度が優れていることもわかる。ただこのズーミング回路方式の差は、ロールオフフィルタをかけた低解像度の状態では現われてこないで、図 2.3.14 の特性(i)はどちらのズーム方式についても変わらない。

(c) 文字了解度の検討

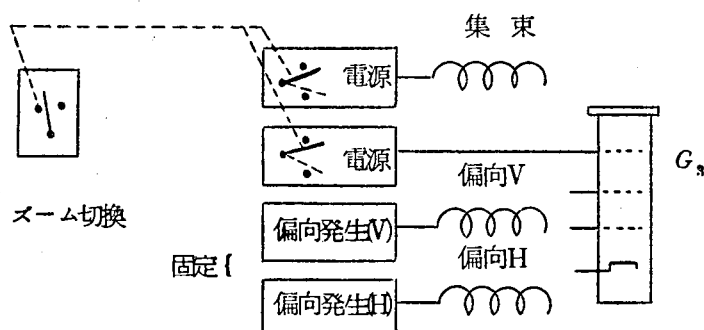
テレビジョンにおける文字了解度についてはすでに報告⁽¹³⁾⁽¹⁴⁾があるが、ここではズーミングの実用的な効果を確認する意味で、簡単な文字了解度試験を行なった。

(i) 試験方法

試験に用いた文字の種類および書体を表 2.3.4 に、文字サイズを表 2.3.5 に示す。被験者 3 名(男 1, 女 2)に視距離 30 cm でブラウン管上の文字を読み取らせた。なお、



(i) 偏向ズーム



(ii) 集束ズーム

図 2.3.9 ズーミング回路

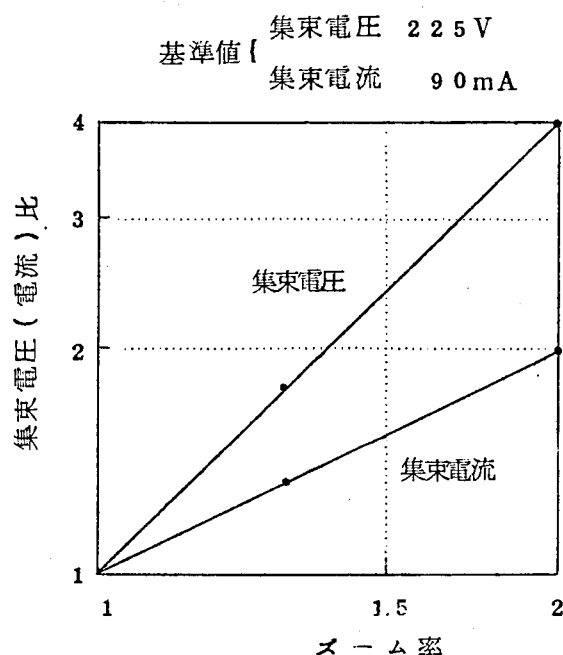


図 2.3.10 集束電圧電流対ズーム率

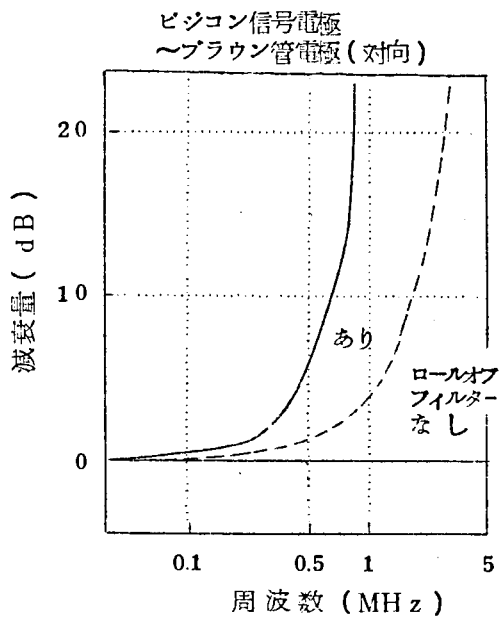


図 2.3.1.1 総合周波数特性

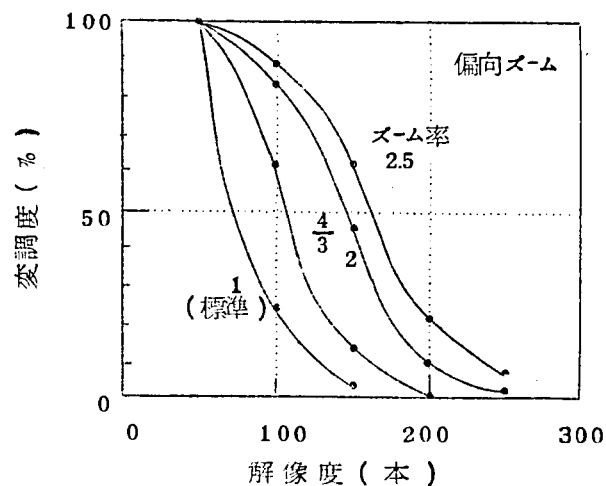


図 2.3.1.2 総合変調度特性

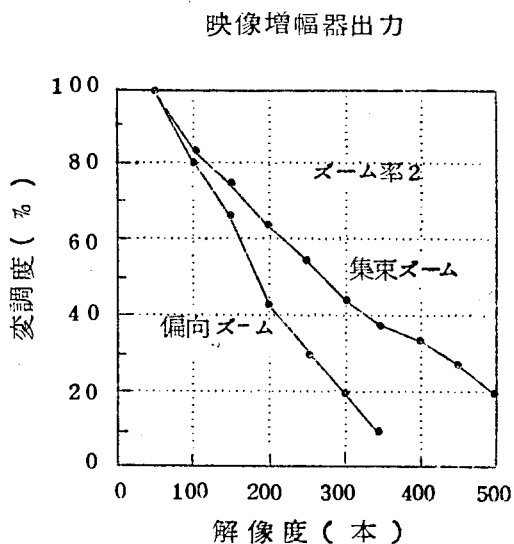


図 2.3.1.3 ズーム方法と変調度の関係

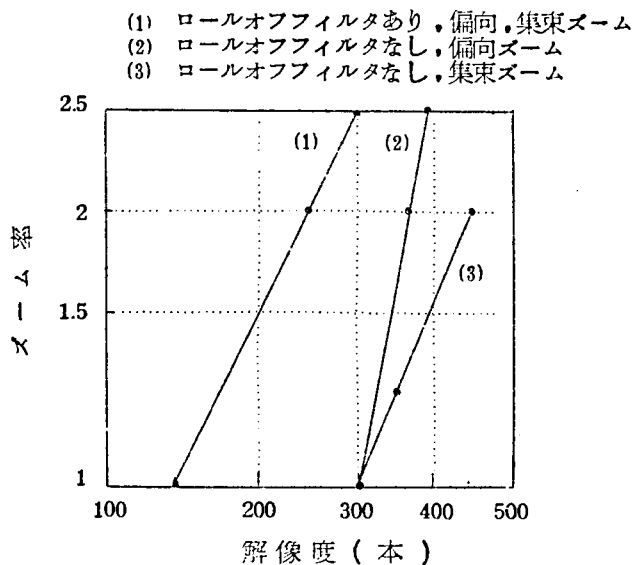


図 2.3.1.4 ズーミングによる解像度の改善

書画送りにおける撮像範囲は 2.2×1.6 cm で、ほぼ B-5 サイズである。

(ii) 実験結果

実験結果を図 2.3.1.5 に示す。3.2 級あるいは 3.8 級の文字サイズでは、字画 1.2～1.3 の漢字で 90% の了解度が得られ、その他の文字は全て 100% の了解度が得られている。また、8 級あるいは 9 級の文字で図示されていないものは、ズーミングを行なっても了解度が得られていない。

データは、ズーミングによる了解度の改善およびロールオフフィルタによる劣化を明らかに示している。また、小さい文字をズーミングした場合に、集束ズームの方が偏向ズームに比して若干了解度が向上することを示している。

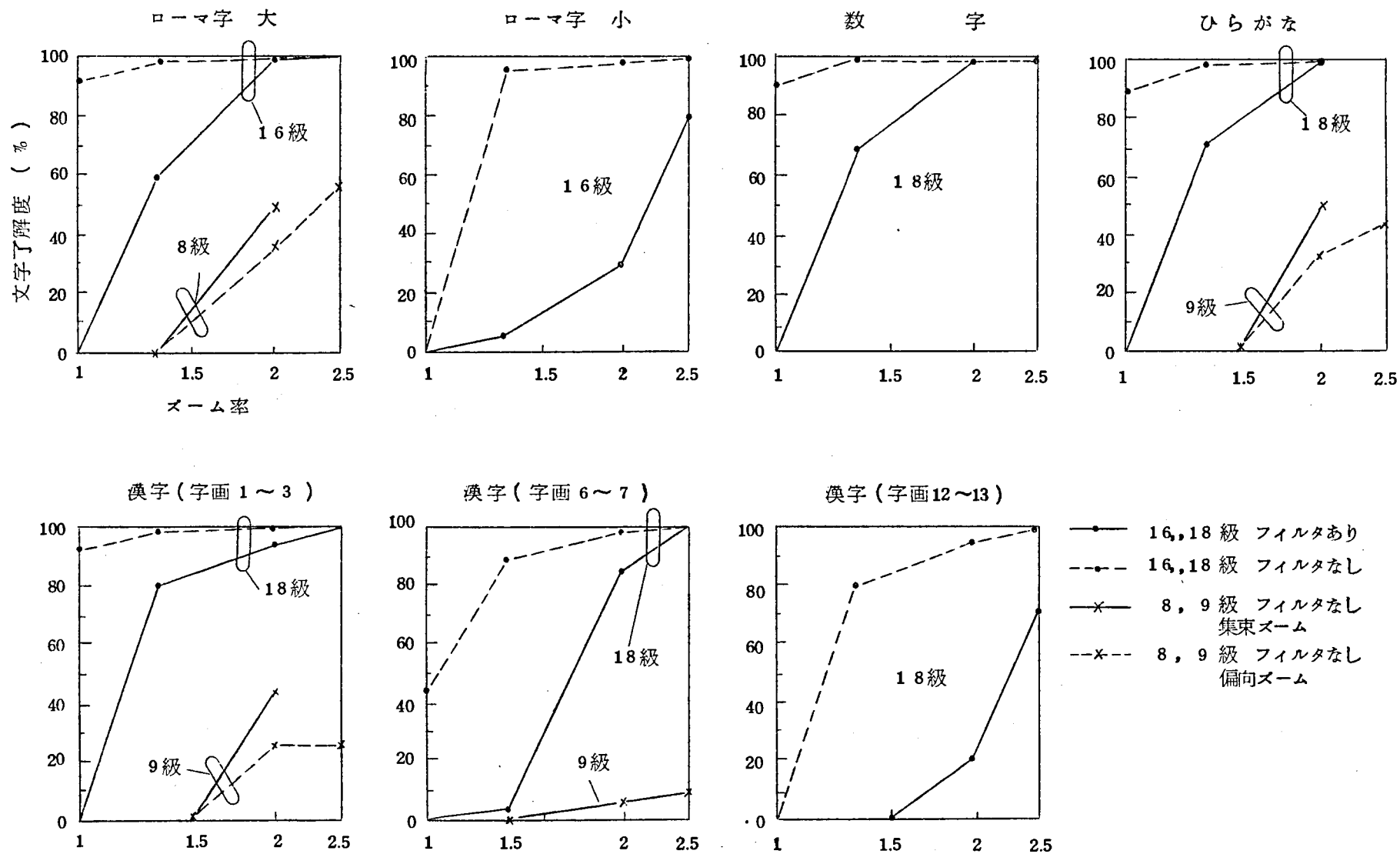


図 2.3.15 ズーミングによる文字了解度の改善

表 2.3.4 文字の種類および書体

種 類		内 訳		書 体
ローマ字	大 文 字	A B C	26文字	センチュリー・ボールド
	小 文 字	a b c	26文字	同 上
数 字		0 1 2	10文字	センチュリー・オールド
ひ ら が な		いろは	46文字	特太明朝体
漢 字	字 画 数 1 ～ 3	当用漢字より30字		
	字 画 数 6 ～ 7	同 上		
	字 画 数 12 ～ 13	同 上		

表 2.3.5 文 字 サ イ ズ

種 類	級	近似新聞活字	7 インチ T V 上でのサイズ	1 字 当 り の 走 査 線 数
ローマ字	3 2		5 mm 平方	12 本
	1 6		2.5 mm 平方	6 本
	8		1.2 mm 平方	3 本
ひらがな 数 漢 字	3 8	4 倍	5.7 mm 平方	13 本
	1 8	2 倍	2.7 mm 平方	6.5 本
	9	1 倍	1.3 mm 平方	3 本

3.5 テレビ電話端末機の試作

前節までに述べた各種機能回路，機構を用いたテレビ電話端末機を試作した。以下試作の概要を述べる。

本機は，図 2.3.16 の構成図に示すように，映像部，電話機部および電源部の 3 部で構成される。映像部はビジコンカメラとブラウン管モニタを含み，書画送り用引出式反射鏡が上部に内蔵されている。各種切換（マイク，モニタ，送像停）および映像調整（ブライト，コントラスト，サイズ，上下）は電話機部で行なえる。電源部には線路増幅器が電源類とともに収容されている。図 2.3.17 は書画送り時の机上端末部外観である。表 2.3.6 に試作機の映像部仕様を示す。

このテレビ電話機のおもな特長は下記の通りである。

- (1) 広範囲な照度変化に応ずる中央測光方式による自動光量制御機構を備えている。
- (2) 書画送りを容易にするため，引出式反射鏡などの付加機構を設け，電子ズームにより解像度の低下を補っている。
- (3) 各種回路はプラグインユニット方式で実装し，調整保守を容易にしたほか，1 部回路の変更のみで 4MHz 方式となるように系列化している。
- (4) 各部回路の簡易化，IC 化により，経済化，小形化を図っている。

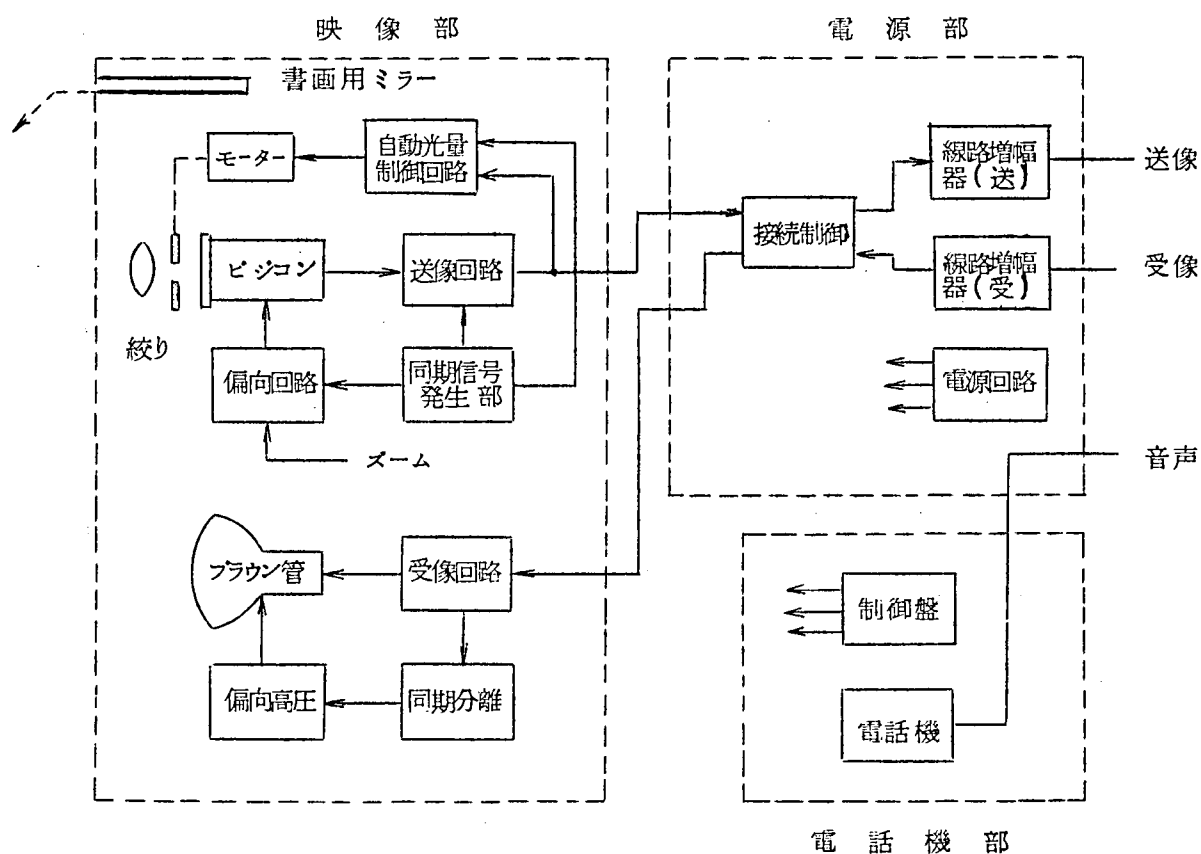


図 2.3.16 テレビ電話機の構成

表 2.3.6 映像部仕様

走査線数	275本	
毎秒像数	30枚	
アスペクト比	4:3	
走査方式	2:1 ロックドインターレース	
映像最高周波数	1MHz (公称)	
映像入出力レベル	1V _{p p} /75Ω	
映像入出力インピーダンス	110Ω 平衡	
使用ビジコン	1インチ	
使用ブラウン管	7インチ	
使用レンズ焦点距離	標準 25mm	
標準視聴距離	90cm	
被写体照度範囲	100 ~ 20,000 ルックス	
自動光量制御	機械絞り	
書画送り機構	自蔵ミラー	
ズーム率	2倍 (連続)	
外形寸法	幅	224mm
	高さ	312mm
	奥行	272mm

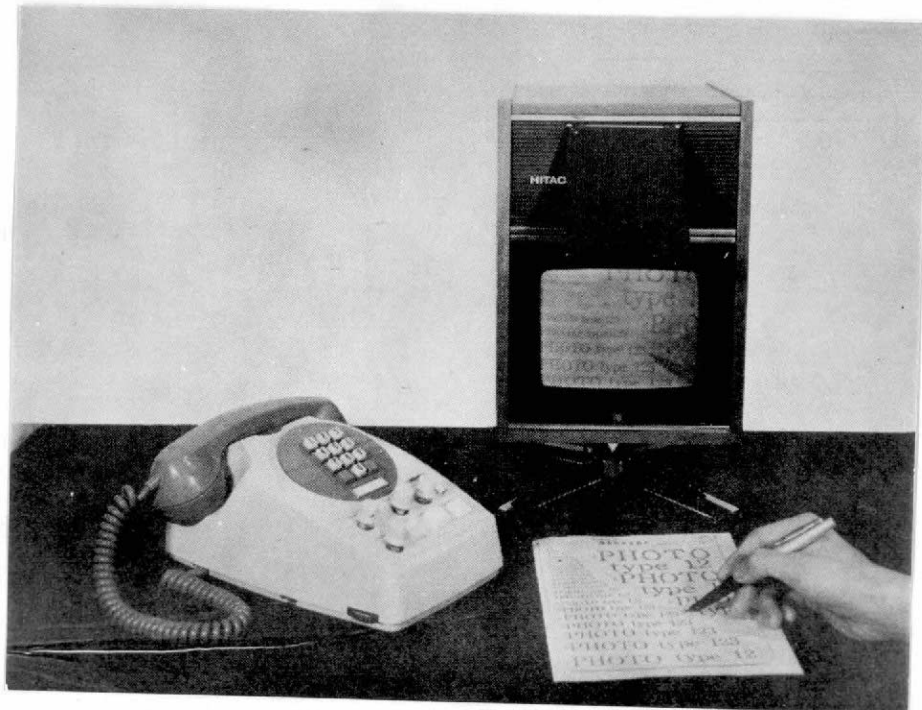


図 2.3.17 机上端末部外観

3.6 まとめ

将来の画像通信の主力機器とも言えるテレビ電話について、開発の初期において行なった主としてカメラの方式設計や、テレビ電話固有の問題である照明変化の大幅変動に対する対策、書画伝送時の解像力不足の対策についての検討結果を述べた。照明変化に対して筆者が提案した中央測光自動光量制御や、 Sb_2S_3 ビジコンによる電子ズームの導入は、それぞれテレビ電話機の試作の中に盛り込まれ、性能が確認され、その有効性が証明された。

これらの機能はテレビ電話にとっては絶対必要なもので、その後も改良され、実用機の中で効果を発揮している。

テレビ電話の開発、実用化は益々進展しており、本研究の終了後に発表された Bell 研究所の報告⁽¹⁵⁾をみても、システム、機器共々多くの先端的研究開発が進行しており、カラーテレビ電話などの将来課題についても既に取組みが開始されている。我が国では電電公社電気通信研究所が中心となり、テレビ電話の開発実用化への努力が続けられており、端末機⁽¹⁶⁾も機能面での仕様はほぼ決定の段階に至っている。その中には本章で述べたような中央測光自動光量制御や S ; ターゲットビジコンによる電子ズームが採用されている。たゞテレビ電話の真の普及には、安定化、コスト低減等幅広い技術の横上げが必要であり、さらにデータ通信との結合等考えるべき問題も多く、今後なお多くの研究が必要であろうと考えられる。

第 3 章 の 参 考 文 献

- 1) D. N. Carson : BLR 46 (1968) 283-291 ; The Evolution of Picture Phone Service
- 2) 熊谷 : テレビ誌, 21 (1967) 314-321 ; 通信サービス総合網とテレビジョン電話
- 3) 熊谷, 水口, 南, 中村 : 信学誌, 50 (1967) 119-126 ; 通信サービス総合網
- 4) A. D. Hall : BLR, 42 (1964-4) 114-120 ; Experiments with Picture Phone Service
- 5) G. J. Lunn, H. Mumford : A. T. E. J'el, 21 (1965) 54-60 ; Television and the Telephone
- 6) 三浦 : テレビ誌, 21 (1967) 776-784 ; テレビジョン電話の技術的問題と動向
- 7) 日比 : テレビ学会産業応用委資料 (昭43-3) ; テレビ電話端末機映像部の技術的問題点
- 8) 日比, 北, 牛島 : 日立評論, 50 年記念号 (1970) 64-67 ; テレビ電話
- 9) 北, 牛島, 日比 : テレビ学会産業応用委 (昭44-2) ; テレビジョン電話機の新機能に関する実験的検討
- 10) 坪内 : 人間工学Ⅲ, 日刊工業 (昭36)
- 11) M. H. Crowell, T. M. Buck, E. F. Labuda, J. V. Dalton, E. J. Walsh : BSTJ, (1967-2) 491-495 ; A Camera Tube with a Silicon Diode Array Target
- 12) E. I. Gordon : BLR, 45 (1967) 175-179 ; A Solid State Electron Tube for Picture Phone Set.
- 13) 岩下 : NHK放送文化研究所年報9集 ; 文字テロップの読みとりやすさについての実験的研究 (1968)
- 14) 永松, 萩原, 大塚, 栄長 : 第4回テレビ学会全国大会論文集, 11-2 ; テレビ電話における文字の了解度について
- 15) I. Dorros : BLR, 47 (1969-5) 136-141 ; Picture Phone
- 16) 中村 : 通研研究発表会論文集20号 (1969-11) ; テレビ電話端末装置

結 言

ビジコンとそのカメラへの応用を含むテレビ撮像装置に関して筆者の行なった研究の総合結果を述べた。筆者は比較的初期の段階からビジコンの開発に参加して、初の国産化の一役を荷ったが、我が国のビジコンの生産が現在月産数万本に達し、国内はもとより海外へも多く輸出される状況を眺めるとき、この研究の一部が寄与していることを思い、内心の喜びとするものである。本研究の中には信号電極電圧制御方式のように性能限界を明確にして、この種の研究に終止符を打たせたものや、特殊面分割フィールド順次カラーカメラのように、実用化に持ち込めなかつたものもある。またテレビ電子顕微鏡のように、世界レベルの性能を得て実用化に成功しても、超高感度撮像管の出現から螢光観察板の直接撮像の方向へ技術動向が変わりつつあるものもある。一方高解像度周波数分離形カラーカメラやテレビ電話のように実用化がようやく始まり、その発展の如何はまったく今後に残されているものもある。科学技術の進歩は止る所がなく、研究の成果も時間と共に盛衰し、消滅するものも多いが、これは研究の宿命であろう。いずれにしても本研究がテレビ撮像装置に関する我が国の技術進歩に些かではあるが寄与、貢献をなしたものと考え、本論文をまとめた次第である。以下、本論文で取り上げた問題に対しての結論と今後の展開に対する見解を述べる。

第1部、第1章のビジコンの開発と特性試験については、ビジコンの基本設計と試作上の問題点、対策を示し、その後のビジコン開発の基礎を築いた。またビジコン開発を裏面から支える特性試験法を確立したが、これは工業製品化には不可欠の作業であつた。ビジコンは本研究による6198の国産化を皮切りに、数多くの品種が相次いで開発され、性能も大幅に改善された。しかし高感度化、低残像化、高解像力化と言うビジコンの宿命的課題は常に存在し、酸化鉛ターゲットをもつプランビジコン（フィリップス商品名）や、シリコンダイオードアレイをターゲットとするシリコンビジコン等の新しい光導電形撮像管も登場している。今後このような小形高性能ビジコンの発展は疑う余地のないところであろう。

第2章はビジコンの画質改善の一つの方法に関するもので、ラチチュード拡大を目指した信号電極電圧制御方式の有効性と問題点を指摘し、特にその応答時間の限界が信号電極電圧急減時の信号電流消滅現象によって決定され、その値は普通0.1～0.2秒に達することを示した。従来論じられたことのない応答時間の限界をビジコン特性と関連ずけて明確になし得たことは本研究の一つの成果と考えられる。当時期待され、色々と試みられようとしていたこの種ビジコンの高速自動制御方式の研究は、上記指摘により事実上終止符が打たれた形となつたのは止むを得ないことであつた。現在色々の形式はあつても、いずれも低速の感度制御、光量制御のみが実用になっている。

第3章の電子衝撃導電形撮像装置の実験は、ビジコン技術を活用して電子顕微鏡の電子線像をテレビ映像化したものである。種々の研究の結果、電子衝撃導電利得1,000倍のセレンターゲットを得て、輝度増倍効果を実証し、我が国では始めて、かつ唯一のテレビ電子顕微鏡を生み出すことができた。この研究は電子顕微鏡、材料、テレビ撮像管グループの共同作業によって始めて可能になつたものであり、現代の研究のあり方を示す好例と言えよう。上記成果は直ちに電子顕微鏡輝度増倍装置として製品化されたが、実用機としては世界で始めてのものであ

り、輸出も行なわれた。しかしこの装置は写真撮影装置との互換性がなく、寿命の問題もあるので、最近のSEC ビジコン等の超高感度撮像管の出現によつて、螢光板とテレビカメラとの組合わせの方法が本方式よりも優勢になりつつあるように思われる。これも技術進歩のもたらす結果と言えよう。

第2部、第1章の簡易形カラーカメラについては、二つの新しいカラーカメラ方式を提案し、それぞれ試作により性能を確認した。その一つは特殊フィールド順次式カメラで、単純な構成がその特色であるが、標準方式とのコンパチビリティがない点に問題があり、開発時点ではマーケットがないこともあつて実用化されなかつた。しかしその新規性からカラーカメラの分類には必らず引用されており、今なお特殊用途への応用に対する試みが発表されており、研究としての意義は十分認められる。

数年の間隔をおいて再び研究を始めた特殊周波数分離方式のカラーカメラは、従来類似の方式で問題となっている解像度特性を改善するアイディアを得たことと、従来困難であつた微細ストライプフィルタの製作がIC技術の発展によつて可能となつたことの2点を背景として研究を開始したものである。試作カメラは簡易形としては十分の性能を有する上、その大きさも世界で最小のものであり、今後の実用に十分耐えるものと考えられる。しかしカラーカメラは将来はVTRと共に家庭にまで普及することが期待されており、今後も色々の方式のものが研究され、実用化への試みがなされるであろう。

第2章の低速走査形カメラについては、書画伝送用のフレーム時間1.4秒の装置と人工衛星用実験モデルのフレーム時間6.5秒の二つの低速走査形カメラについての試作実験を例にして、低速走査形カメラの設計法と問題点を示した。また低速走査用ビジコンの必要特性を示すと共に、標準走査時の特性との関連について理論と実験から推論をおこない、ビジコン選択の指針を与えた。低速走査形カメラは閉回路テレビジョンの特殊例として未だ実施例は少ないが、この技術を必要とする分野はファクシミリ送信機への導入等、むしろ今後発展してくるものと思われ、本研究の資料が役立つ機会も生ずるものと考えている。

第3章はテレビ電話用カメラに関するものであり、周波数帯域1MHz走査線数275本のテレビ電話端末機の基本設計と、二つの新機能に関する実験的研究について報告した。

我が国で始めて開発した中央測光自動光量制御はきわめて有効な機能であり、テレビ電話としては不可欠のものである。また三流化アンチモンビジコンを用いた電子ズームの可能性を示し、文字了解度改善効果を実証した。これらの新機能を備えたテレビ電話装置は、一部電電公社電気通信研究所にも納入され、我が国のテレビ電話開発の一つの礎石として有用なデータを提供したものと信じている。公衆通信としてのテレビ電話は未だ発足以前の段階である。今後一層の研究と技術開発が必要なことは言うまでもない。

以上、本論文で述べたテレビ撮像装置に関する研究の結論をまとめた。

テレビ撮像装置はテレビジョン・システムの基幹要素であり、今後も各種の用途に、色々な要求が生じてくるであろう。これに対しより優れた画質を得、新しい機能を得るには、撮像管や方式の開発が有機的に一体となつた研究開発が必要になるものと考え、今後もこの分野の研究を押し進めてゆきたいと考える次第である。

最後に、本研究をまとめるに当たり、したしく御教示、御指導を頂いた、京都大学工学部、教

授林千博博士、高木俊宜博士に深甚な謝意を表する。

本研究は日立製作所中央研究所において実施されたものであり、実施の機会を与えて下さった、所長神原豊三博士、名誉所長星合正治博士に深く感謝の念を表わす。

またビジコン研究に関し、御指導、御援助を頂いた、日本放送協会、吉永義輝博士を始め各位、静岡大学西田亮三博士に感謝の意を表わしたい。また研究期間中絶えず御指導、御鞭達下さった日立製作所、只野文哉博士、関壮夫氏、菅原理夫博士^{*}、武井幸夫博士、関口存哉博士、芳根寛樹氏に心より御礼を申上げる。（^{*}現在山梨大学）また本研究を行なうに当っては多くの方々の暖かい御協力、御討論を得たが、特に第1部撮像装置関係について、芦川幹雄氏、三友勇氏、及川充博士、菰田孜氏、第2部応用関係について、江藤良純氏、西村武氏^{**}、江谷英男氏、北靖洋氏、牛島和彦氏、成田昭氏の御協力による所大であり、衷心より感謝申上げる。（^{**}現在京都工芸繊維大学）